Étude environnementale n° 15

Effets de l'exploration sismique sur le comportement et l'activité des rats musqués dans le delta du Mackenzie.

Programme des Affaires du Nord

David A. Westworth
D.A. Westworth & Associates Ltd.
Edmonton, Alberta

© Publié avec l'autorisation de
l'hon. John C. Munro, c.p., député,
ministre des Affaires indiennes
et du Nord canadien,
Ottawa, 1981.
QS-8258-000-FF-A1
N° de catalogue: R71-19/15-1980F
ISBN 0-662-90678-0

Ce rapport a été préparé sous contrat pour le Programme de recherche sur l'utilisation des terres arctiques, Direction de la protection de l'environnement du Nord, ministère des Affaires indiennes et du Nord canadien. Les considérations, conclusions et recommandations exprimées dans ce document sont celles de l'auteur et ne sont pas nécessairement celles du Ministère.

This publication is also available in English.

RÉSUMÉ

Des études ont été effectuées de janvier à mai 1977 pour déterminer les effets de l'exploration sismique sur le comportement et l'activité des rats musqués. La région à l'étude était constituée d'un lac de 11 ha situé à 68°33' de latitude nord et à 134°27' de longitude ouest, dans le centre est du delta du Mackenzie.

La population du lac a été évaluée à 35 rats musqués, dont 19 ont été munis de radio-émetteurs. Seize animaux ont fait l'objet d'au-delà de 12,000 observations au cours d'une surveillance intensive menée en avril et au début de mai.

Les schèmes d'activité antérieurs aux perturbations étaient caractérisés par un rythme quotidien bimodal présentant des pointes à 8 h et à 21 h. Les rats musqués consacraient environ 40% de chaque journée à aller chercher de la nourriture à partir de leurs huttes, et le reste du temps à dormir dans leurs terriers.

Le forage sismique a contribué à réduire à court terme les niveaux d'activité, l'hélicoptère utilisé pendant cette opération ayant apparemment troublé les animaux. Par contre, le forage n'a eu aucun effet sur les rythmes quotidiens d'activité ou sur le nombre de déplacements journaliers. Les schèmes d'activité observés aprés le sautage ne différaient guère des niveaux antérieurs aux perturbations pour l'activité moyenne quotidienne ou les déplacements journaliers.

Les rats musqués abrités dans leurs terriers ou leurs huttes n'ont pas réagi au déboisement ou au forage, mais ceux qui se trouvaient dans les terriers ont été dérangés par les hélicoptères en vol stationnaire à moins de 12 m. L'explosion de charges de 11.3 kg a provoqué une réaction de courte durée chez les rats musqués dans un terrier éloigné de 12 m mais n'a eu aucun effet à des distances de 60 m ou plus. Dans un autre cas, toutefois, la détonation d'une charge de 6.8 kg a provoqué la mort de quatre rats musqués dans un terrier distant de 12 m. L'autopsie a montré que la mort n'a pas été le résultat d'un trauma engendré par le sautage. Les observations empiriques appuient l'hypothèse selon laquelle le sautage aurait pu libérer du méthane dans le terrier, entraînant la mort par anoxie.

L'activité sismique n'a eu aucun effet visible sur l'utilisation des refuges par les rats musqués. L'occupation des huttes n'était pas reliée à l'éloignement de la perturbation ou des terriers de berge. Les changements dans la fréquentation des terriers ont comporté une importante augmentation de l'occupation des terriers les plus proches d'un trou de tir, ce que indique l'absence de réaction d'évitement après le sautage.

REMERCIEMENTS

La présente étude a été menée grâce à un contrat accordé dans le cadre du Programme de recherches sur l'utilisation des terres arctiques (MAIN). Le Service des terres et forêts du Nord-Ouest, la Compagnie pétrolière Impériale et le Laboratoire de recherches d'Inuvik se sont chargés du soutien logistique. Je remercie pour leur aide et leur collaboration les membres de ces organisations, et notamment G.A. Yarranton, chef de la Division des études sur l'environnement (MAIN), J.T. Inglis, chef intérimaire de la Section de l'utilisation des terres (MAIN), B. Veldhoen, directeur de district au sein du Service des terres et forêts du Nord-Ouest, Inuvik, D. Longlitz, chef de la Section de l'utilisation des terres, C.J. Cuddy, inspecteur en chef de l'utilisation des terres (MAIN), Yellowknife, J. Cooper, coordonnateur environnemental, S. Gibson et R. Cook, de la Compagnie pétrolière Impériale, et P. Lewis et J. Ostrick, du Laboratoire de recherches d'Inuvik.

Je désire également remercier W. Elder et A.R. Fink, de Gulf Canada, pour avoir effectué les essais de pression hydrostatique, et M. Wopnford, de Shell Canada, qui a organisé le forage sismique expérimental.

Le Dr. B.E. Beck, chef de la Section des maladies des animaux, Division des services vétérinaires (Alberta Agriculture), a réalisé les autopsies. Je suis aussi reconnaissant à M. Aleksiuk pour ses conseils judicieux lors de la conception de la présente étude et à V.D. Hawley, du Service canadien de la faune, pour avoir procuré l'équipement de capture.

Je suis aussi reconnaissant à M. Aleksiuk pour ses conseils judicieux lors de la conception de la présente étude et à V.D. Hawley, du Service canadien de la faune, pour avoir procuré l'équipement de capture.

Je désire remercier Isaac Simon, Tom Thrasher et Fred Rogers pour leur aide, et l'Association des chasseurs et trappeurs d'Aklavik et d'Inuvik, pour leur intérêt et leur collaboration au cours de l'étude.

Enfin, je suis particulièrement reconnaissant à mes deux assistants sur le terrain, Ian D. Marr et Stanley Hamernyk, qui ont largement contribué au succès de l'entreprise grâce à l'intérêt qu'ils ont manifesté pour les recherches et à leurs capacité de travailler dans des conditions climatiques extrêmes.

TABLE DES MATIÈRES

	PAGE
RÉSUMÉ	i
REMERCIEMENTS	ii
1.0 INTRODUCTION	1
2.0 RÉGION ÉTUDIÉE	2
3.0 MÉTHODES	5
3.1 Matériel télémétrique	5
3.2 Techniques	5
3.2.1 Implantation des émetteurs	8
3.2.2 Installation des antennes	8
3.2.3 Surveillance	10
3.2.4 Explosions d'essai sismique	10
4.0 RÉSULTATS	11
4.1 Introduction	11
4.2 Réactions comportementales des rats musqués pendant les opérations de forage	11
4.3 Réactions comportementales des rats musqués pendant le sautage sismique	16
4.3.1 Comportement des rats musqués dans les huttes face au sautage sismique	19
4.4 Effet des perturbations sismiques sur les schèmes d'activité des rats musqués	20
4.4.1 Schèmes quotidiens d'activité	20
4.4.2 Schèmes généraux d'activité	21
4.5 Effets de l'exploration sismique sur la fréquentation des huttes et des terriers de berge	
4.5.1 Fréquentation des huttes	30
4.5.2 Fréquentation des terriers	31
4.6 Effets physiques du sautage sismique sur les rats musqués	36
5.0 DISCUSSION	41
6.0 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	45
7.0 RÉFÉRENCES	47
ANNEXE I. Rapport pathologique	49
ANNEXE II. Résultats des essais de pression hydrostatique	52

FIGURES

		PAGE
Figure 1.	Situation de la région à l'étude	3
Figure 2.	Profondeurs et végétation du lac à l'étude	4
Figure 3.	Position des huttes, des terriers et des domaines vitaux au lac à l'étude	12
Figure 4.	Comportement des rats musqués à la station 1 pendant le forage sismique	15
Figure 5.	Comportement des rats musqués à la station 1 pendant le sautage sismique	17
Figure 6.	Comportement des rats musqués à la station 14 pendant le sautage sismique	18
Figure 7.	Activité dielle combinée de 11 rats musqués des groupes familiaux 1 et 3	22
Figure 8.	Niveaux moyens d'activité de 11 rats musqués par rapport aux perturbations, à la photopériode et à la température	23
Figure 9.	Nombre moyen de déplacements quotidiens faits par 11 rats musqués par rapport à la période de perturbation	28
Figure 10.	Régression selon l'après-sautage: fréquentation des huttes avant la perturbation en fonction de l'éloignement du trou de tir le plus proche pour les groupes familiaux 1 et 3 combinés	33
Figure 11.	Régression selon l'après-sautage: fréquentation des huttes avant la perturbation en fonction de l'éloignement du terrier de berge pour les groupes familiaux 1 et 3 combinés	33

TABLEAUX

	PAGE
Tableau 1. Analyse de covariance pour la proportion de temps d'activité	25
Tableau 2. Analyse de classement multiple pour la proportion de temps d'activité	26
Tableau 3. Analyse de covariance pour le nombre de déplacements quotidiens	27
Tableau 4. Analyse de classement multiple pour le nombre de déplacements quotidiens	29
Tableau 5. Analyse de régression linéaire de la fréquentation des huttes selon l'éloignement de la perturbation	32
Tableau 6. Fréquentation des huttes par rapport à la perturbation, à l'éloignement des terriers de berge et au point de tir le plus proche	34
Tableau 7. Analyse de régression linéaire de la fréquentation des huttes selon l'éloignement du terrier de berge	35
Tableau 8. Fréquentation des terriers de berge par rapport à la perturbation et à l'éloignement du point de tir le plus proche	37

PHOTOGRAPHIES

		PAGE
Photo 1.	Fil d'antenne télémétrique installé sur une hutte exposée	6
Photo 2.	Boîte de raccordement des antennes et récepteurs logés dans une tente centrale	6
Photo 3.	Localisation et marquage des huttes sur les lacs étudiés avant une forte chute de neige	7
Photo 4.	Les pièges de capture sont complètement enveloppés de styromousse isolante et recouverts d'une épaisse couche de neige fraîche	7
Photo 5.	Points de suture dans la peau d'un rat musqué anasthésié après l'implantation d'un émetteur.	9
Photo 6.	Foreuse hélicoïde à air comprimé mise en place au moyen d'un hélicoptère	13
Photo 7.	Excavation d'un terrier de berge (station 14) montrant la stratification verticale des chambres	40
Photo 8.	Deux des quatre rats musqués morts à la station 14 après le sautage sismique.	40

1.0 INTRODUCTION

Des études effectuées en 1976 ont partiellement répondu à la question de savoir si la population de rats musqués du delta Mackenzie a souffert et souffre toujours des opérations d'exploration sismique gazière et pétrolière. En résumé, ces travaux ont indiqué que: 1) la dépopulation n'est pas reliée aux lacs soumis à l'exploration sismique; 2) les expositions n'ont blessé que les animaux qui y ont été exposés expérimentalement à une distance de 15 m ou moins et n'ont pas été assez fortes pour causer des dommages permanents ou la mort; 3) la tension ou les blessures infligées par le sautage sismique n'ont pas entraîné une diminution mesurable de la reproduction effective.

En 1977, la deuxième phase des recherches a permis d'examiner les effets directs et indirects des perturbations sismiques sur l'activité et le comportement des rats musqués. Le présent rapport livre les résultats de ces travaux et offre des données additionnelles sur les conséquences d'une exposition au sautage dans des conditions naturelles.

Les objectifs du programme de recherches de 1977 étaient de déterminer:

a) la réaction comportementale des rats musqués pendant le forage, le sautage et les activités connexes;

b) l'effet des perturbations sismiques sur les schèmes normaux d'activité;

c) l'effet du sautage sismique sur la fréquentation continue des terriers et des huttes par les rats musqués; et

d) si les animaux rentrés dans leurs huttes et terriers naturels étaient autant blessés par le sautage que ceux qui y avaient été exposés antérieurement dans des conditions artificielles.

Les objectifs originaux ont aussi nécessité des relevés de l'abandon des huttes sur les lacs touchés par un programme sismique comparativement à celui observé aux lacs témoins situés à une certaine distance. Conséquemment, plus de 800 huttes ont été répertoriées au cours de janvier et de février dans 12 paires de lacs aux environs et à l'intérieur d'une région où un programme majeur d'exploration était prévu pour mars et avril 1977. Un faible englacement par suite d'un hiver exceptionnellement chaud a cependant forcé l'annulation de ce programme, si bien que le relevé des huttes n'a pu être terminé. L'étude a pu se poursuivre grâce à une entente permettant de forer et de sonder au tir une section de 0.5 km de la route originale adjacente à la région où l'étude s'est effectuée de façon intensive.

2.0 RÉGION ÉTUDIÉE

La région générale à l'étude était située dans le centre-est du Delta, à environ 4 km au nord-est de la zone des travaux de 1976 (Westworth 1977). Le gros des recherches portait sur un lac de 11 hectares adjacent au chenal Crooked, à 68°33' de latitude nord et 134°27' de longitude ouest, approximativement à mi-chemin entre le chenal Napoiak et le chenal Middle du fleuve Mackenzie (figure 1).

Le lac est peu profond (moins de 2 m avant le gel), mais sa bordure est très inclinée, sauf à l'extrémité nord (figure 2). Lors de période de hautes eaux, il fait partie d'un réseau de lacs interreliés au sud. Certaines années tout au moins, les eaux pénètrent dans le lac par-dessus la levée à l'extrémité nord.

La végétation aquatique submergée consiste surtout en Potamogeton richardsonii et Myriophyllum exalbescens, plantes qui semblent recouvrir uniformément tout le fond. La végétation émergée se limite à une bande étroite d'Equisetum fluviatile et de Carex sp. le long du côté nord. Les groupements terrestres des berges et des environs réunissent principalement deux types. Les sites bien drainés portent une forêt climax d'épinettes (Picea glauca) ainsi qu'un sous-étage d'aulnes (Alnus crispa) et de saules (Salix spp.), tandis que les zones basses renferment des groupements de saules (Salix spp.) et carex (Carex spp.)

Le lac à l'étude est considéré comme représentatif des plus petits lacs du Delta. La physiographie et la végétation de la région ont été décrites de façon plus détaillée dans un rapport antérieur (Westworth 1977). Le lac convenait idéalement aux objectifs de l'étude parce que a) ses dimensions modestes permettaient l'étude d'une partie importante de la population à un moment donné, b) des relevés antérieurs de huttes avaient indiqué qu'il abritait une population assez considérable de rats musqués, et c) il était à l'extérieur du territoire habituel des trappeurs locaux. Selon les estimations, le lac comptait 35 rats musqués (indice de Lincoln), dont 24 ont été marqués avant le dénombrement.

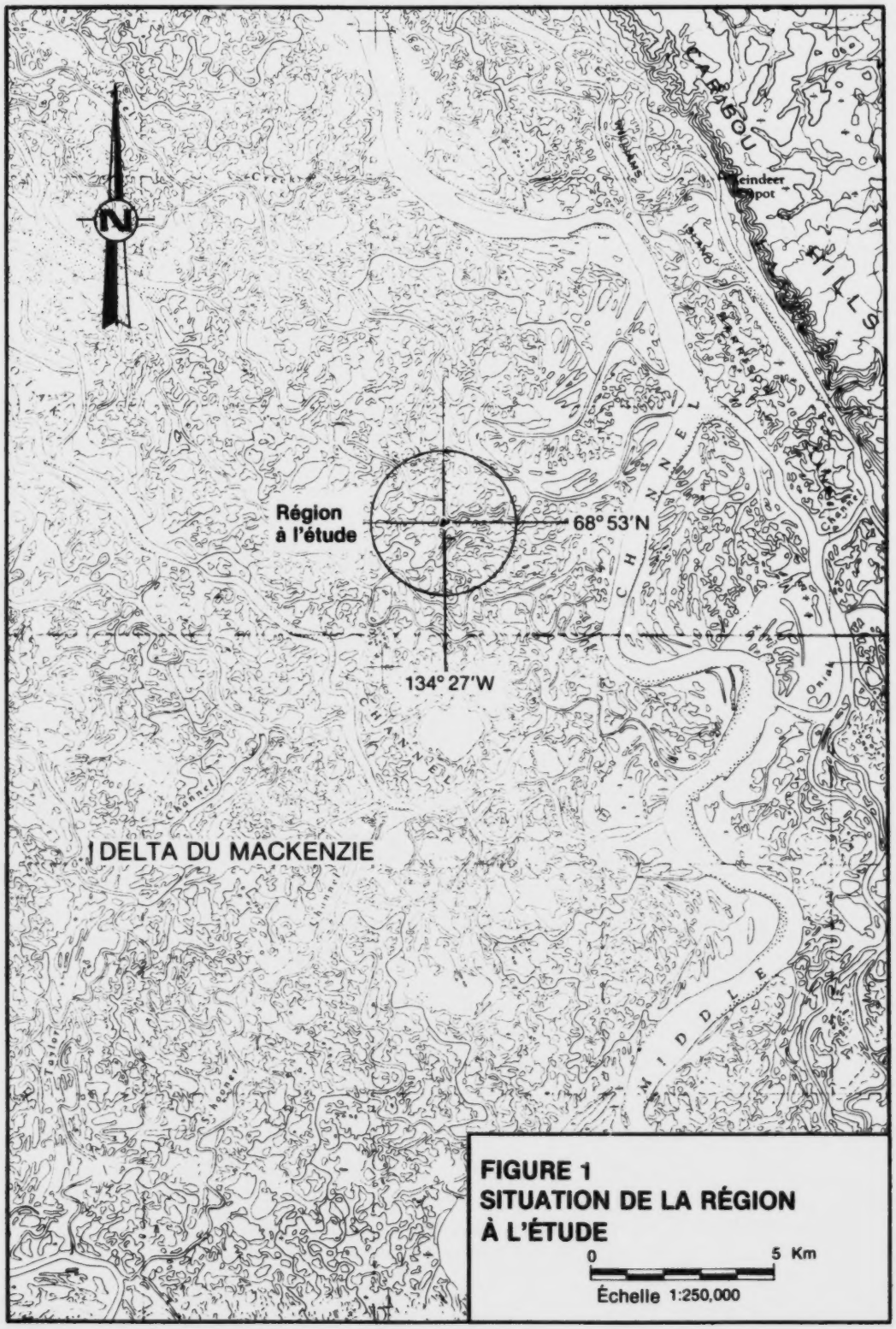
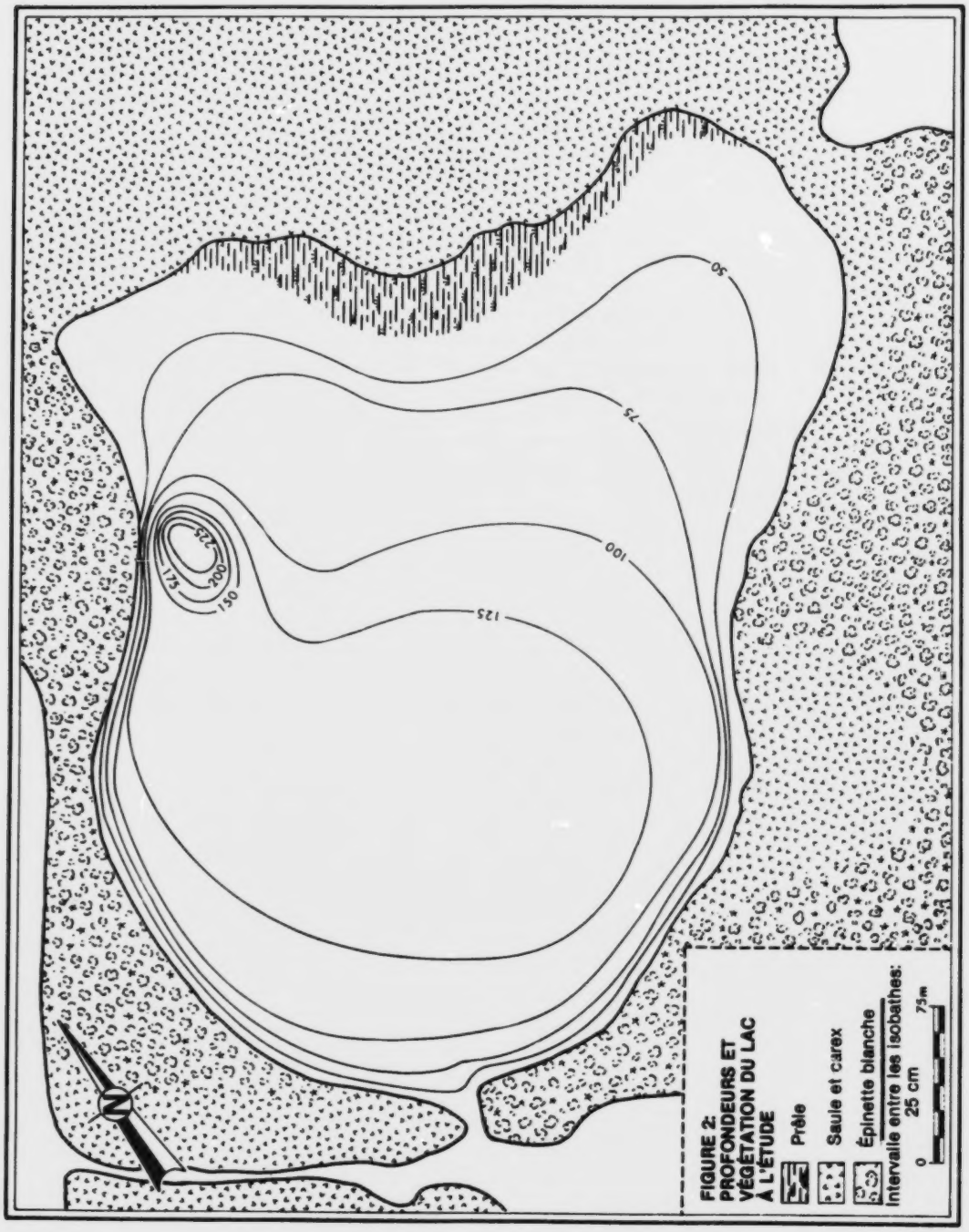


FIGURE 1
SITUATION DE LA RÉGION À L'ÉTUDE


50
75
100
125
150
175
200
225
N
FIGURE 2:
PROFONDEURS ET
VÉGÉTATION DU LAC
À L'ÉTUDE
Prêle
Saule et carex
Épinette blanche
Intervalle entre les isobathes:
25 cm
0
75m

3.0 MÉTHODES

3.1 Matériel télémétrique

Les émetteurs utilisés dans l'étude étaient des versions modifiées du type décrit par Wang (1972). Ils étaient sensibles aux changements thermiques et hautement directionnels, produisant une tonalité continue à des fréquences discrètes allant de 88 à 108 MHz. Les appareils de transmission, alimentés par une pile au mercure Mallory RM-1, ont été enfermés dans un mélange de cire d'abeille et de paraffine afin d'être étanches et biologiquement inertes. Les émetteurs scellés pesaient environ 20 g, soit de 1.7 à 2.7% du poids des animaux. La portée maximale de transmission dans l'air était d'à peu près 30 m.

Le récepteur utilisé était un enregistreur à cassettes Superscope (modèle CR 800). Les antennes réceptrices consistaient en un fil d'antenne de télévision de 300 ohms enroulé autour des huttes et des terriers de la manière illustrée à la photo 1. Les conducteurs d'antenne étaient reliés à une boîte de raccordement à 22 sorties placée à l'intérieur d'une tente centrale chauffée. Afin de minimiser l'inductance entre les conducteurs, les trente derniers mètres consistaient en un câble gainé de 75 ohms raccordé au fil d'antenne de 300 ohms grâce à un transformateur approprié. Un dispositif à poussoirs F59 permettait à l'observateur de brancher facilement le récepteur à n'importe laquelle des 22 antennes (photo 2).

3.2 Techniques

Le lac à l'étude a d'abord été visité le 13 février au cours des relevés de huttes. À ce moment-là, sa couverture neigeuse atteignait en moyenne 30 cm d'épaisseur et aucun signe de débordement n'était visible. Les huttes ont été repérées en parcourant systématiquement le lac à pied et en sondant les monticules de neige au moyen d'une tige en inox fixé au bout d'un manche en bois (photo 3). Chaque hutte a été marquée d'un drapeau numéroté et inscrite dans la catégorie occupée ou abandonnée, selon que les trous de plongée étaient libres (signe d'une fréquentation habituelle par les rats musqués) ou gelés.

La capture a commencé le 27 mars et s'est terminée le 7 avril, les travaux ayant été partiellement entravés par des températures descendant jusqu'à -39°C. Le mode opératoire, décrit en détail dans un rapport antérieur (Westworth 1977), comportait le sondage, avec une tige d'acier, des huttes à piéger afin de déterminer la position de la plateforme de remontée. Un petit trou (10-12 cm de diamètre) a ensuite été pratiqué dans la paroi de la hutte, à côté de la plate-forme, et un piège de capture de marque National, à porte unique et mesurant 15 x 15 x 47 cm, a été posé à ras de l'ouverture. Les pièges ont été complètement enveloppés de styromousse isolante de 7.5 cm d'épaisseur, selon les recommandations de Hawley et Hawley (1975), et les ouvertures ou fissures ont été bouchées avec de la gadoue et des matériaux humides de huttes (photo 4). Après chaque visite aux pièges à des intervalles de 8 à 12 heures, les huttes étaient recouvertes d'une épaisse couche de neige légère afin de rétablir l'isolation.

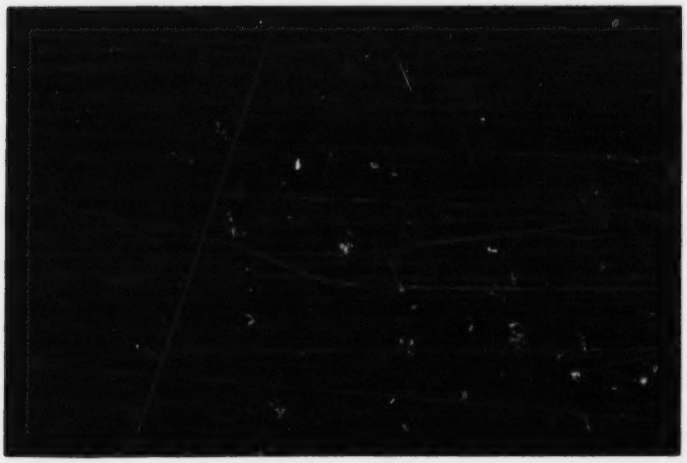


Photo 1. Fil d'antenne télémétrique installé sur une hutte exposée. La hutte a ensuite été recouverte de neige afin de rétablir l'isolement. Les terriers de berge ont reçu une installation semblable.

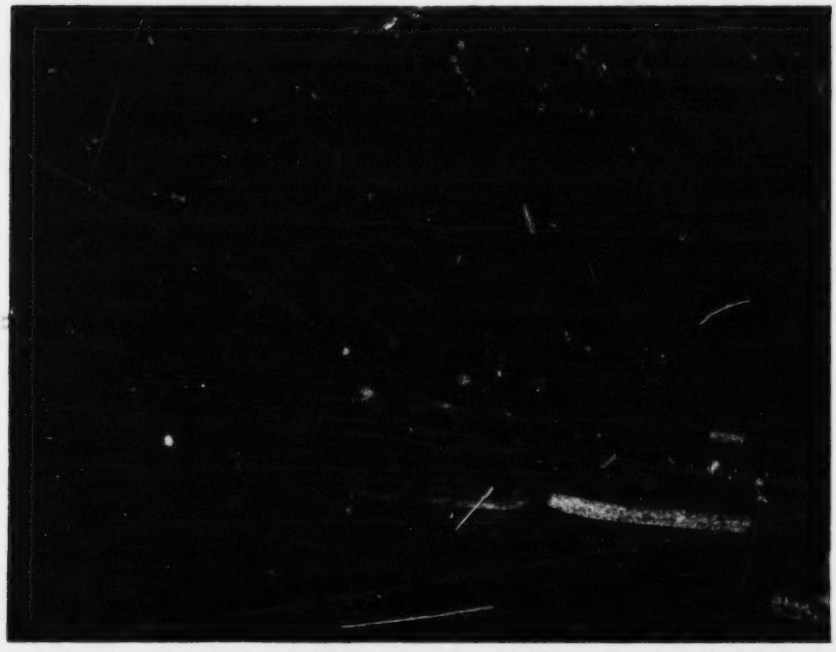


Photo 2. Boîte de raccordement des antennes et récepteurs logés dans une tente centrale.

Photo 3. Localisation et marquage des huttes sur les lacs à l'étude avant une forte chute de neige. La longue tige de métal est introduite dans la hutte afin de déterminer si les rats musqués maintiennent les trous de plongée libres.

Photo 4. Les pièges de capture sont complètement enveloppés de styromousse isolante et recouverts d'une épaisse couche de neige fraîche.

Un total de 24 rats musqués ont été pris vifs, dont 19 ont été munis de radio-émetteurs. Les animaux ont été choisis en fonction de l'âge, du sexe et de la proximité de la ligne sismique proposée de façon à être représentatifs de la population globale. Les autres rats musqués ont été mesurés, pesés, classés par âge et par sexe, marqués à l'oreille (étiquette National n° 1, style 1005) et relâchés. Le sexe a été déterminé en palpant les organes génitaux externes. L'âge a été inscrit comme adulte ou juvénile selon la taille, l'apparence générale, le pelage et les organes génitaux externes et a été contrôlé après l'autopsie des dents et du système reproducteur.

3.2.1 Implantation des émetteurs

Les rats musqués choisis pour les études de télémétrie ont été transportés par motoneige jusqu'à une caravane chauffée à 5 km de distance. Les animaux ont été opérés moins de 6 heures après leur capture. Ils ont été anesthésiés par injection péritonéale de penthiobarbital de sodium (40 mg/kg du poids de l'animal). Les doses requises et les délais de réaction ont varié considérablement, bien que la plupart des animaux fussent assez endormis en cinq minutes. L'intervention comportait une incision de 3 à 4 cm dans la peau et la paroi abdominale le long de la ligne blanche, l'insertion d'un émetteur stérilisé dans la cavité péritonéale et la fermeture de l'incision avec du fil de soie (photo 5). La lésion a été traitée au moyen d'un antibiotique local afin de réduire les risques d'infection. Après l'intervention, les animaux ont été remis dans leurs cages, et celles-ci, placées dans un secteur chaud de la caravane pour permettre aux bêtes de récupérer. En général, les animaux ont commencé à se rétablir en moins d'une heure, et chacun semblait normal, actif et prêt à être relâché le lendemain matin. La fréquence de l'émetteur implanté a été relevée après l'intervention et encore une fois au moment de la mise en liberté.

3.2.2 Installation des antennes

Après leur relâchement au point de capture, les rats musqués ont pu récupérer pendant plusieurs jours (10 en moyenne) avant le début de la surveillance intensive. Les travaux consistaient d'abord à suivre à pied les déplacements de plusieurs animaux porteurs d'un émetteur afin de localiser les huttes et les terriers fréquentés par des groupes familiaux déterminés. Sur les trois groupes observés de façon intensive, deux se trouvaient du côté du lac adjacent à la ligne sismique proposée, tandis que le troisième a servi de témoin du côté opposé de la ligne.

Quand les terriers et les huttes connus ont tous été localisés, la neige a été enlevée avec soin, le fil d'antenne mis en place et le refuge recouvert d'une épaisse couche de neige fraîche. Étant donné que le nombre de terriers et de huttes (30) occupés par des rats musqués porteurs d'un émetteur dépassait la capacité prévue du système d'antennes (22), il a fallu grouper plusieurs paires de huttes voisines en enroulant le fil d'antenne en série. Cette mesure a permis de localiser l'animal dans presque tous les cas, mais il était parfois impossible de distinguer les huttes entre elles.

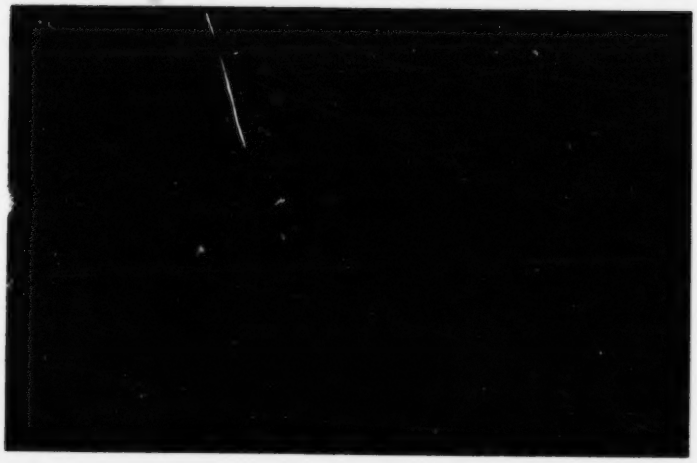


Photo 5. Points de suture dans la peau d'un rat musqué anesthésié après l'implantation d'un émetteur. La repousse du duvet était avancée une semaine après l'intervention chirurgicale et était à peu près terminée un mois après.

3.2.3 Surveillance

L'étape de la surveillance comportait la recherche systématique, sur chacune des 22 antennes, des fréquences des émetteurs transportés par les bêtes. Avant et après les expériences sismiques, des lectures ont été faites à des intervalles d'une demi-heure, 24 heures par jour, par trois observateurs qui se relayaient. Le numéro de l'étiquette, la fréquence et le code d'activité étaient inscrits pour chaque position respective sur les formulaires de données sur le terrain.

Les émetteurs étaient hautement directionnels, de légères modifications de l'orientation de la bobine rayonnante par/au fil d'antenne causant/rappo des fluctuations discernables dans le signal radio. Des observations d'animaux captifs et libres avant le début de l'étude ont permis d'identifier les modifications de signal dues aux activités comme la marche, les changements de direction, le toilettage et la nage. Lors des observations régulières, l'un des trois codes d'activité suivants a été consigné pour chaque animal après un contrôle de 10 à 15 secondes:

C - immobile
M - en mouvement (marche, toilettage, etc.)
S - en train de nager

3.2.4 Explosions d'essai sismique

Ainsi qu'il a été mentionné, l'étude devait au début coïncider avec un programme normal d'exploration sismique de la Compagnie pétrolière Impériale. Son permis visait une opération classique sur une seule ligne consistant en six lignes intersectées couvrant une zone d'environ 120 km^2. Les lignes devaient être déboisées sur une bande de 10 m (33 pi) de largeur, le long de laquelle seraient forés de profonds trous de tir à des intervalles de 122 m (400 pi). Les trous devaient contenir des charges de Geogel de 6.8 à 11.4 kg (15 à 25 liv) et les points de tir, se conformer aux 12 m (40 pi) réglementaires d'éloignement des lacs ou des chenaux. Le faible englacement (amincissement allant jusqu'à 40 cm d'épaisseur) des chenaux Tumma et Crooked a forcé la Compagnie pétrolière Impériale à annuler le programme le 9 mars.

Après l'abandon du programme, des mesures de circonstance ont permis de forer huit trous de tir expérimentaux le long du lac à l'étude, au moyen d'un appareil de forage transportable par hélicoptère. Cette technique diffère grandement des opérations de forage courantes à l'aide d'appareils cheuillés, bien que le forage par hélicoptère ait été généralisé dans le Delta par le passé. Cette méthode est décrite à la section 4.2.

4.0 RÉSULTATS

4.1 Introduction

Entre le 10 avril et le 3 mai, l'étude a comporté 20 jours de surveillance intensive. Treize de ces jours correspondaient à la période antérieure à la perturbation, deux, à celle postérieure au sondage, et cinq, à la période postérieure au sautage et à la perturbation.

Les travaux ont comporté 12,408 observations de 16 rats musqués porteurs d'un émetteur, soit une moyenne de 775.5 observations par individu. Trois des émetteurs implantés sont tombés en panne pendant la période de récupération antérieure à la surveillance intensive. Sur les seize qui ont continué de fonctionner, douze ont fourni des données jusqu'à la fin de l'étude, un (455) est tombé en panne le 16^{e} jour et trois (460, 465 et 471), le 15^{e} jour, à la suite d'un sautage.

Les relations spatiales et sociales révélées par données télémétriques ont indiqué l'existence de trois groupes sociaux distincts. Comme divers auteurs (Errington 1963, Westworth 1974) ont constaté que les jeunes demeurent avec leurs parents pendant le premier hiver, ces groupes sont appelés ici groupes familiaux.

La figure 3 indique les domaines vitaux. Dans la présente étude, un domaine vital est la zone comprenant la totalité des huttes et des terriers de berge fréquentés par un groupe familial. Dans la plupart des cas, la totalité des terriers et des huttes d'un domaine vital donné ont été fréquentés par tous les membres du groupe. Cependant, les individus avaient tendance à préférer des huttes particulières dans un domaine vital donné. La fréquentation du territoire sera décrite en détail dans une publication ultérieure.

Les domaines vitaux familiaux s'excluaient mutuellement et, en général, ne se chevauchaient pas. Les exceptions comportant la fréquentation d'un refuge par les membres de plus d'un groupe familial représentaient moins de 0.001% des observations.

4.2 Réactions comportementales des rats musqués pendant les opérations de forage

Le forage, commencé le 25 avril, a été interrompu par le mauvais temps et n'a pris fin que l'après-midi du 26 avril. La première étape de l'opération consistait à enlever les grands arbres et les abrisseaux afin de permettre à l'hélicoptère de mettre en place l'appareil de sondage. Deux hommes équipés de tronçonneuses ont mis environ 30 minutes à déboiser chaque zone.

La foreuse, de type hélicoïde à air comprimé et à injection inverse, a été positionnée en trois parties (photo 6). La première comprenait la base et le compresseur, la deuxième, la tour de forage et le moteur, et la troisième, un compartiment technique contenant du combustible, des maîtresses-tiges et des explosifs. Lors du transport de la foreuse à un nouvel emplacement, la tour était d'abord enlevée et placée temporairement sur la glace pour permettre de poser la base sur un point de tir déjà repéré. Bien que l'équipage de l'hélicoptère eût reçu instruction d'utiliser un lac adjacent pour les étapes, il semble avoir jugé nécessaire de se poser plusieurs fois sur le lac à l'étude.

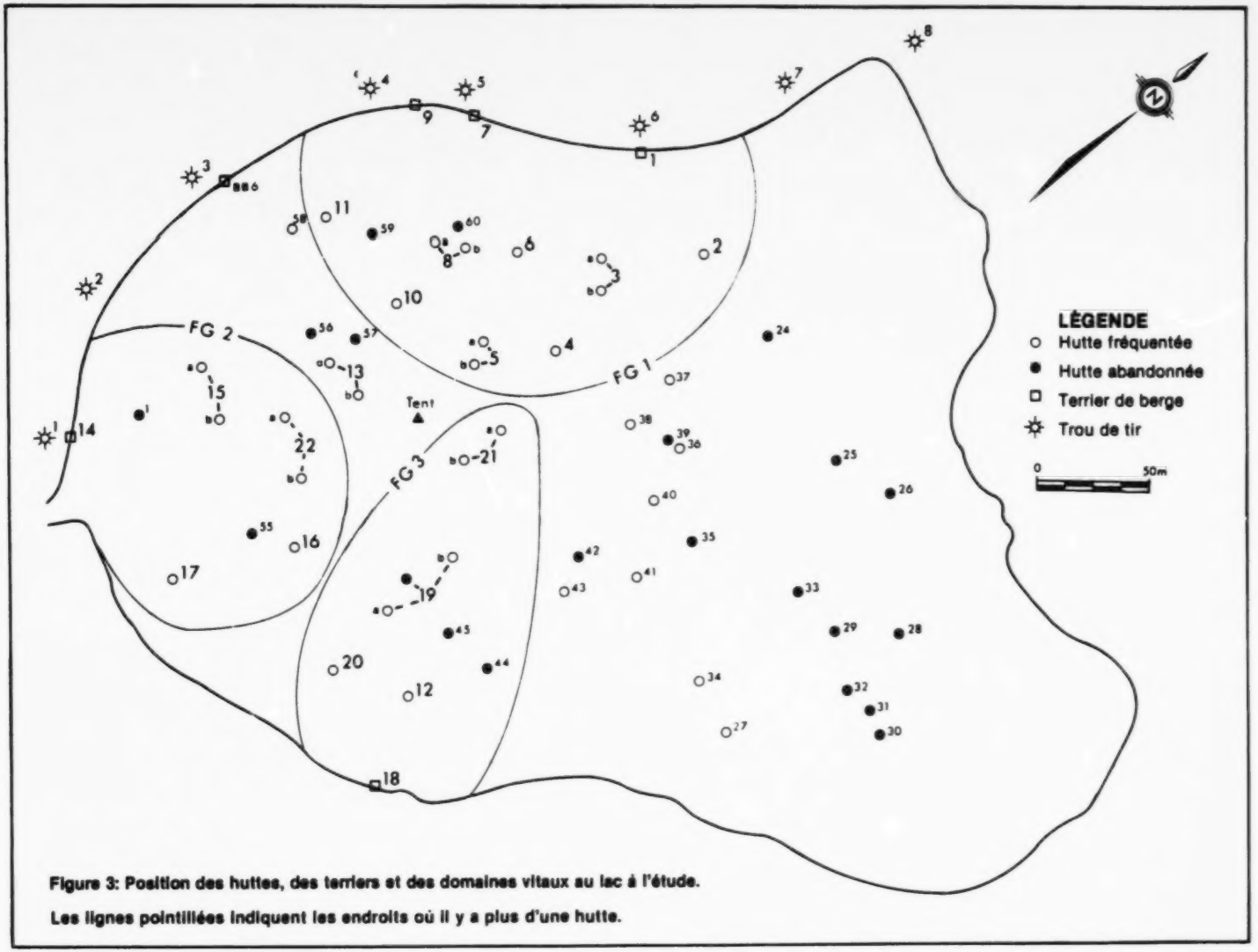


Figure 3: Position des huttes, des terriers et des domaines vitaux au lac à l'étude.

Les lignes pointillées indiquent les endroits où il y a plus d'une hutte.

Photo 6. Foreuse hélicoïde à air comprimé mise en place au moyen d'un hélicoptère.

Il s'agissait de forer, jusqu'à une profondeur de 18.3 m (60 pi), des trous d'un diamètre de 10 cm. Cependant, l'existence d'un horizon argileux compact a empêché la foreuse de pénétrer à la profondeur prévue dans quatre des trous. Les trou de tir n° 1 (TT) avait 14.6 m (48 pi) de profondeur, le TT n° 4, 18 m (59 pi) et les TT n^{os} 7 et 8, 16.8 m (55 pi). Au-dessus de l'horizon argileux compact, les matériaux étaient des limons gelés zonés de minces lentilles de sable et de glace. Le forage de chaque trou a pris environ 25 minutes et a comporté cinq changements de maîtresses-tiges.

La situation des trous de tir était conforme à l'écartement prévu de 61 m; toutefois, cet alignement avait été prédéterminé de façon que les trous soient forés directement à l'arrière de trois des terriers de berge (stations 1, 7 et 14). Les TT n^{os} 1 à 4 ont été chargés de 6.8 kg de Geogel et les TT n^{os} 5 à 8, de 11.3 kg. Un effondrement partiel de la paroi ou une obstruction dans le TT n° 3 a empêché l'insertion de l'explosif à une profondeur supérieure à 2.4 m. Tous les trous ont ensuite été bourrés (partiellement remplis de terre) conformément à la technique sismique normale.

Pendant le déboisement et le forage, les positions de tous les rats musqués porteurs d'un émetteur ont été relevées à des intervalles de 10 à 15 minutes. De plus, les animaux abrités dans les terriers et les huttes les plus proches de chaque trou de tir ont été surveillés de façon ininterrompue, et les données recueillies, enregistrées sur bande magnétique. Les deux observateurs chargés de contrôler les activités des rats musqués ont été informés de chaque étape du forage par un chercheur à l'aide d'émetteurs-récepteurs. Il était donc possible de bien connaître les réactions des rats musqués à chaque type de perturbation causée par le forage sismique.

La figure 4 représente les réactions comportementales de six rats musqués occupant un terrier de berge (station) 1) sur le côté ouest du lac. La plupart des animaux étaient inactifs et ont été jugés endormis pendant la période de perturbation. La perturbation causée par le déboisement de l'emplacement de forage, juste à l'arrière de la station 1, ou 111 m plus loin au TT n° 7, n'a en rien modifié l'activité de ces animaux. Même les réactions momentanées n'ont pas semblé résulter de la chute de plusieurs grands arbres près des terriers de berge. Cependant, les réactions manifestées lors du déplacement par hélicoptère de l'appareil de forage ont montré une certaine régularité. Ces réactions tendaient à être spécifiques et se manifestaient lors des vols stationnaires à faible altitude (30 m) près des terriers de berge. Par exemple, lors du transport de l'équipement de sondage du TT n° 5 au TT n° 6 à l'arrière de la station 1, aucun mouvement n'a été décelé quand la première partie de la foreuse a été mise en place. Lors du second voyage, toutefois, l'équipage a éprouvé quelques difficultés à abaisser la tour de forage sur la base et l'hélicoptère est resté en vol stationnaire au-dessus du site pendant 30 sec. Les six rats musqués ont commencé à aller et venir dans le terrier. Une réaction semblable au vol stationnaire s'est produite de nouveau quand la foreuse a été enlevée de l'emplacement. Les rats musqués ne semblaient pas perturbés par l'hélicoptère évoluant à plus de 100 m de distance. Les résultats de la surveillance de deux animaux aux stations 7 et 14 le 25 avril concordent étroitement avec ceux mentionnés ci-dessus.

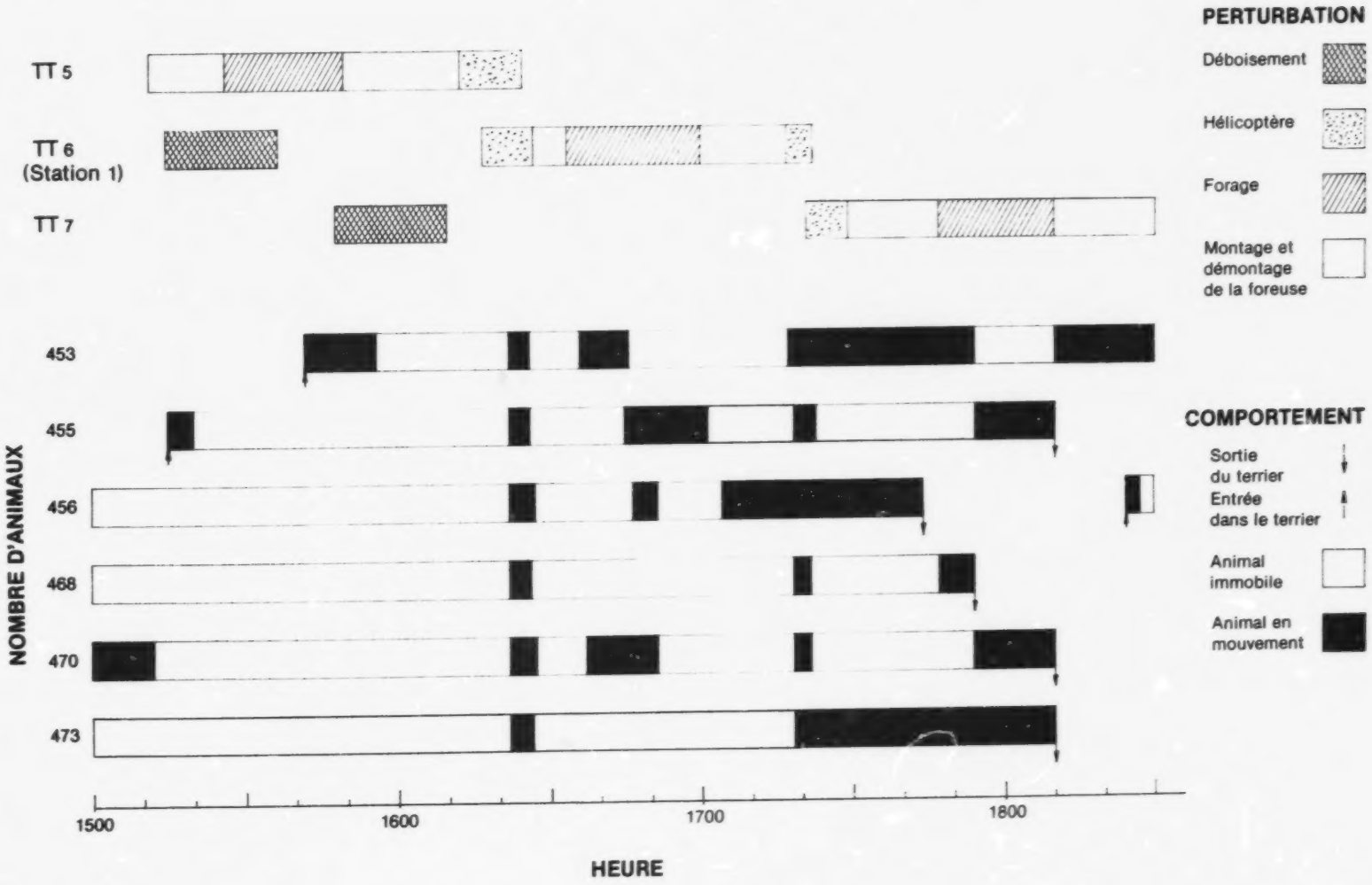


Figure 4: Comportement des rats musqués à la station 1 pendant le forage sismique

Les charcheurs ont bien décelé certains mouvements pendant le forage (figure 4), mais les réactions présentaient moins de régularité et ne semblaient pas avoir été provoquées par un aspect quelconque de l'opération. Ces mouvements auraient pu constituer une réaction résidentielle à la perturbation causée par l'hélicoptère.

En résumé, les résultats de la surveillance de 10 rats musqués qui ont été exposés au forage sismique alors qu'ils se trouvaient dans trois terriers de berge indiquent un faible niveau global de perturbation, surtout relié aux déplacements d'un hélicoptère utilisé pour transporter la foreuse. Les animaux ont réagi avec régularité au vol stationnaire à faible altitude près du terrier en allant et venant dans leur refuge, mais, le plus souvent, la durée de réaction n'a pas dépassé cinq minutes, et aucune bête n'a quitté son terrier. Comme l'indique la figure 4, les animaux sont sortis du terrier (station 1) vers 18 h selon leur habitude.

4.3 Réactions comportementales des rats musqués pendant le sautage sismique

Les charges ont explosé dans sept des trous de tir entre 13 h et 16 h le 28 avril. Les détonations dans les trous ont été déclenchées en ordre inverse à partir du TT n° 8.

Comme pour le forage, le sautage devait coïncider avec la période au cours de laquelle la plupart des rats musqués étaient dans leur terrier et, par conséquent, le plus près du point de choc. La détonation dans le TT n° 5, à l'arrière de la station 7, qui n'a été provoquée qu'à la toute fin de l'étude pour des raisons de sécurité, aurait permis de déterminer si les animaux occupant la station 1 lors de l'explosion auraient préféré un terrier de berge plus éloigné du point de tir.

Les charges ont sauté l'une après l'autre à des intervalles de 10 à 20 minutes afin de simuler une opérations sismique normale. Le comportement des rats musqués porteurs d'un émetteur, occupant les stations les plus proches des trous de tir, a été observé de la manière décrite ci-dessus dans le cas du forage.

Les réactions de six rats musqués à la station 1 et de trois de leurs congénères à la station 14 étaient semblables pendant le sautage (figures 5 et 6). Dans les deux cas, il n'y a eu aucune réaction observable à l'explosion de charges de 11.3 kg ou de 6.8 kg dans les trous de tir situés à 111 m ou plus des terriers. Les animaux ont toutefois réagi à la détonation de charges juste à l'arrière des terriers.

À la station 1, quatre animaux immobiles ont soudainement commencé à se déplacer tout de suite après l'explosion. Cette période de déplacement n'a duré que 6 ou 7 minutes. Un cinquième animal (456) avait déjà bougé avant la détonation, rendant sa réaction ambiguë. Le rat musqué n° 452 a quitté le terrier au moment de l'explosion et a atteint la station 7 à 15 h 50, heure à laquelle le sautage a pris fin. (Deux observateurs sont en désaccord quant au moment précis du départ de l'animal, c'est-à-dire immédiatement avant ou après l'explosion.) La sortie du terrier après une période d'inactivité ou de sommeil était presque toujours précédée par quelques minutes de toilettage et (ou) de marche à l'intérieur du terrier. L'absence d'une telle période d'activité en ce cas indique plus fortement que la sortie du n° 452 a été provoquée par l'explosion. Par contre, le n° 468 a, semble-t-il, dormi profondément pendant toute la période d'observation et n'a manifesté aucune réaction aux explosions.

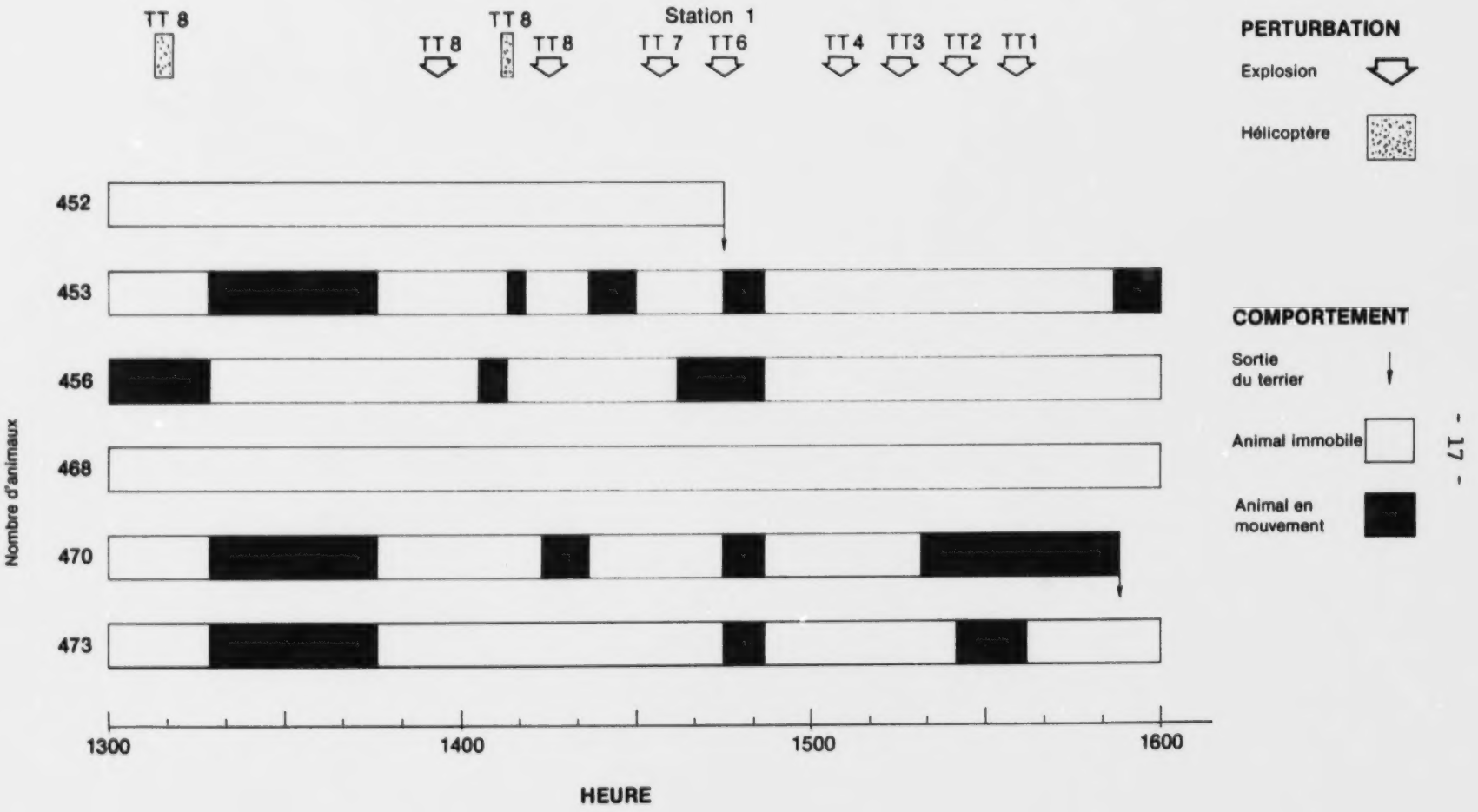


Figure 5: Comportement des rats musqués à la station 1 pendant le sautage sismique

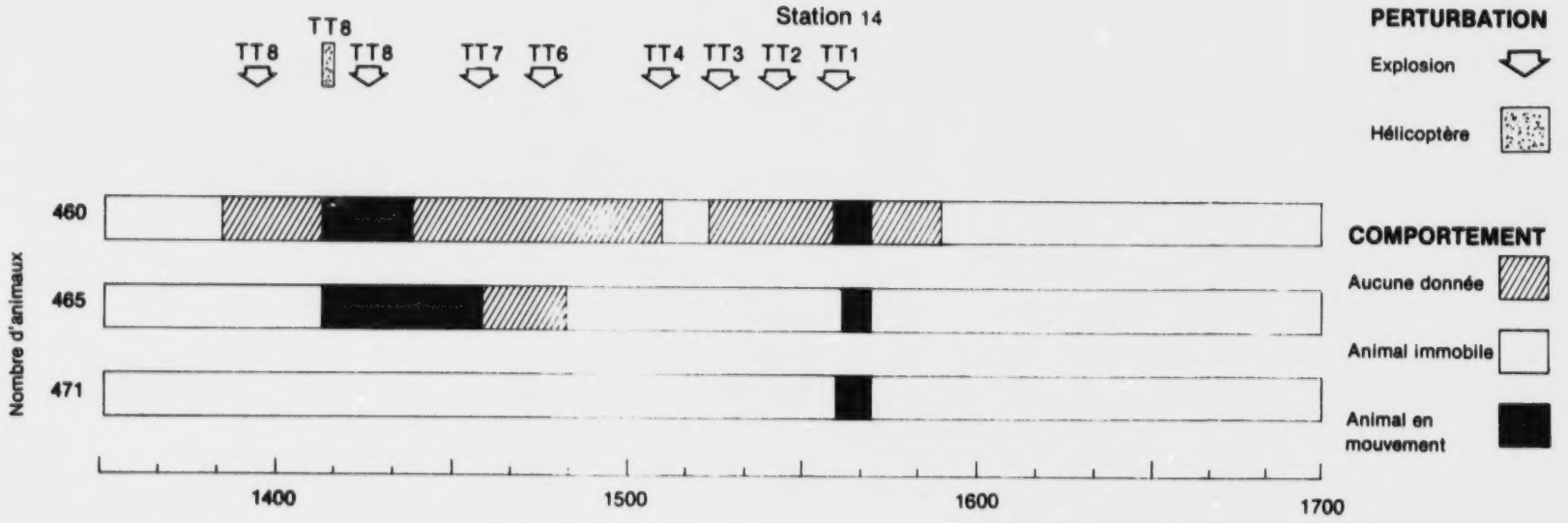


Figure 6: Comportement des rats musqués à la station 14 pendant le sautage sismique.

L'explosion à l'arrière de la station 14 s'est produite à 15 h 35. Avant le sautage, les rats musqués n^{os} 465 et 471 étaient inactifs. L'émetteur implanté dans l'animal n° 460 a mal fonctionné pendant toute l'étude, ne produisant qu'un signal faible qui n'était détecté que par intermittence, probablement quand l'animal était orienté dans un plan particulier ou occupait certains secteurs du terrier. Le n° 471 a réagi soudainement au tir et a commencé à aller et venir dans le terrier. Les n^{os} 465 et 460 se sont également mis en mouvement dans leur refuge; cependant, le n° 465 n'a commencé à bouger qu'une minute après la détonation. Dans chaque cas, le déplacement n'a duré que 4 ou 5 minutes. Entre 16 h 45 et 17 h 15, la fréquence tonale reçue des appareils portés par les trois animaux est devenue, sans doute possible, celle d'émetteurs froids, indiquant que ces animaux étaient morts.

4.3.1 Comportement des rats musqués dans les huttes face au sautage sismique

Les mouvements et l'activité d'un certain nombre de rats musqués occupant des huttes ont été surveillés pendant le sautage sismique, mais à un degré moindre que ceux des bêtes dans les terriers.

Le rat musqué n° 455 a été particulièrement actif pendant cette période, se déplaçant au moins sept fois après avoir quitté la station 1 avant le début du sautage. L'animal a été observé aux stations 3, 5, 6 et 8, bien qu'il soit demeuré à la station 5 pendant les cinq explosions du côté ouest du lac. Aucun des mouvements ne semble correspondre à l'heure des détonations.

Les rats musqués n^{os} 469 et 451 étaient à la station 17 entre 13 h et 15 h, période où des contrôles d'activité à des intervalles de 10 à 15 minutes ont indiqué qu'ils dormaient. Le n° 469 a quitté sa hutte à 15 h 01 et s'est rendu à la nage jusqu'à la station 15 située à environ 80 m plus près de la zone de perturbation. Il est demeuré à cet endroit, apparemment pour se nourrir, jusqu'à 16 h 55, puis il s'est dirigé vers la station 16. Au moment de la détonation dans le TT n° 3 (15 h 15) à 120 m de distance, l'animal nageait sous l'eau près de la station 15. Il a aussi été surveillé de façon continue lors de la détonation dans le TT n° 2, à environ 70 m de distance, 18 minutes plus tard. La bête est restée absolument immobile pendant 30 secondes après l'explosion, puis elle a commencé son toilettage. Le n° 451 est demeuré à la station 17 jusqu'à 15 h 60, puis il s'est dirigé vers la station 15.

Les observations ci-dessus montrent que les occupants des huttes distantes de seulement 70 m des points de tir ne sont pas gênés par le sautage. Ces observations valent probablement pour la plupart des situations associées aux opérations sismiques normales, car les huttes du delta du Mackenzie ne sont que rarement situées à moins de 40 m du rivage. Les déplacements de rats musqués à des stations plus distantes du côté est du lac ne semblaient pas non plus reliés au sautage. Avant les explosions, les quatre rats musqués (n^{os} 458, 462, 463 et 464) fréquentant la station 16 étaient dans leur terrier. Pendant la période de sautage, deux animaux sont allés à la recherche de nourriture, déplacement qui les a menés plus près de la zone de perturbation. Le n° 458 s'est rendu à la station 19, et le n° 463, à la station 21.

4.4 Effet des perturbations sismiques sur les schèmes d'activité des rats musqués

Les sections précédentes ont traité des réactions comportementales à court terme des rats musqués au forage et au sautage sismiques. Les modifications à long terme des schèmes quotidiens d'activité sont également un sujet de préoccupation. Des changements importants dans le pourcentage de temps consacré aux activités essentielles comme l'alimentation et le repos doivent être considérés comme potentiellement néfastes, particulièrement chez une espèce comme le rat musqué, qui vit dans un milieu bien défini. À la fin de l'hiver, les contraintes physiques entraînées par l'épaississement de la glace et la réduction de la nourriture disponible atteignent un maximum. Les besoins énergétiques accrus des animaux, à l'époque où ils doivent parcourir de plus grandes distances pour trouver une nourriture végétale d'une qualité réduite, augmentent encore quand l'organisme se prépare aux fonctions de la reproduction à la fin de mars et en avril.

Les principales activités des rats musqués à cette époque de l'année sont la recherche de nourriture et le sommeil, et les animaux y consacrent la quasi-totalité de la journée. Les luttes intraspécifiques, qui sont très visibles pendant les périodes d'accouplement et de dispersion des animaux au printemps et à l'automne (Westworth 1974), ne semblent pas avoir lieu pendant l'hiver. Les limites territoriales maintenues pendant la période sans glace deviennent fixes après l'engel, et les limites des domaines vitaux familiaux sont déterminées par la situation et la dispersion des huttes ou des trous de respiration. Les quelques cas de chevauchement de domaines vitaux familiaux observés au cours de la présente étude semblaient être acceptés avec grande tolérance.

Le comportement et l'activité spécifiques des occupants des huttes et des terriers sont analysés de façon approfondie dans un rapport ultérieur à l'aide de données recueillies lors d'observations continues effectuées en avril et au début de mai. Afin d'examiner l'effet des perturbations sismiques, il suffit de souligner ici que la fréquentation des huttes est surtout reliée à l'alimentation, et celle des terriers, au sommeil ou au repos. Les données télémétriques renseignent aux deux activités principales avant et après les perturbations sismiques. Les données recueillies sur le groupe familial n° 2 ne sont pas incluses dans la présente section en raison du cas inhabituel où deux rats musqués (469 et 451) n'occupaient que des huttes et où les autres animaux (460 et 471) ne fréquentaient que des terriers de berge, ainsi qu'en raison de la mort du n° 471 après l'explosion dans le TT n° 1 le 28 avril.

La présente section tient compte de deux indices d'activité des rats musqués. Le premier, le pourcentage de temps d'activité, représente la période au cours de laquelle les rats musqués étaient à l'extérieur du terrier de berge et, par conséquent, occupés à se nourrir ou à se déplacer. Le nombre de déplacements quotidiens, indiqués par les changements d'endroit lors des contrôles d'une demi-heure, a été utilisé comme second indice d'activité.

4.4.1 Schèmes quotidiens d'activité

Il a été démontré que la plupart des animaux ont un rythme d'activité de 24 heures, conséquence des stimuli environnementaux variables

et des rythmes physiologiques endogènes (Aschoff 1963, 1966). De même, les rats musqués présentent des rythmes quotidiens prévisibles (circadiens) (MacArthur 1977, Van Horn 1975).

Une courbe combinée d'activité quotidienne tracée pour sept rats musqués du groupe familial n° 1 et quatre rats musqués du groupe n° 3 indique que l'activité est répartie en deux grandes périodes (figure 7). Avant la perturbation, les pointes ont été observées vers 8 h et 21 h. Les périodes d'activité sont d'une durée à peu près égale, bien que la seconde pointe soit légèrement plus élevée.

Le schème d'activité bimodal n'a guère changé après la perturbation. Les seules différences apparentes étaient une légère diminution de la hauteur des pointes d'activité et une augmentation d'environ une heure dans l'espacement temporel des pointes.

La proportion d'activité diurne, définie ici comme étant la portion d'observations au cours desquelles les rats musqués étaient actifs entre le lever et le coucher du soleil, est passée de 73% avant la perturbation à 86% après le sautage. La figure 7 montre clairement que ce changement n'est pas relié à des modifications du rythme d'activité diurne, mais plutôt à l'accroisement de l'ensoleillement et du niveau global d'activité.

4.4.2 Schèmes globaux d'activité

L'étude des groupes familiaux 1 et 3 a mis en évidence des changements marqués du niveau global d'activité. La mesure dans laquelle ces changements reflètent des fluctuations aléatoires ou l'effet possible de perturbations sismiques est obscurcie par des facteurs qui agissent les uns sur les autres comme les conditions atmosphériques, la photopériode et les changements physiologiques liés à la reproduction (figure 8).

Les effets de ces diverses variables indépendantes ont été examinés par une analyse de covariance (MTS/SPSS, version H, sous-programme ANOVA). Cette méthode est équivalente à une analyse de régression multiple, employant certaines variables catégoriques (ou accessoires). Les analyses de régression servent à enlever la variation étrangère des niveaux observés d'activité des rats musqués, variation due à diverses variables, et à présenter la décomposition de la variance expliquée due aux effets principaux.

Les variables utilisées dans l'analyse sont: les températures de l'air maximale, minimale et moyenne, la durée de l'ensoleillement (minutes entre le lever et le coucher du soleil) et la pression barométrique quotidienne moyenne. Bien que les températures minimale et maximale de même que des observations météorologiques générales aient été consignées quotidiennement dans la région à l'étude, toutes les données sur les conditions atmosphériques utilisées dans la présente analyse ont été obtenues de la station météorologique d'Inuvik, car il a semblé que la plus grande fiabilité des mesures de cette station compensait amplement les différences climatiques locales entre les deux zones.

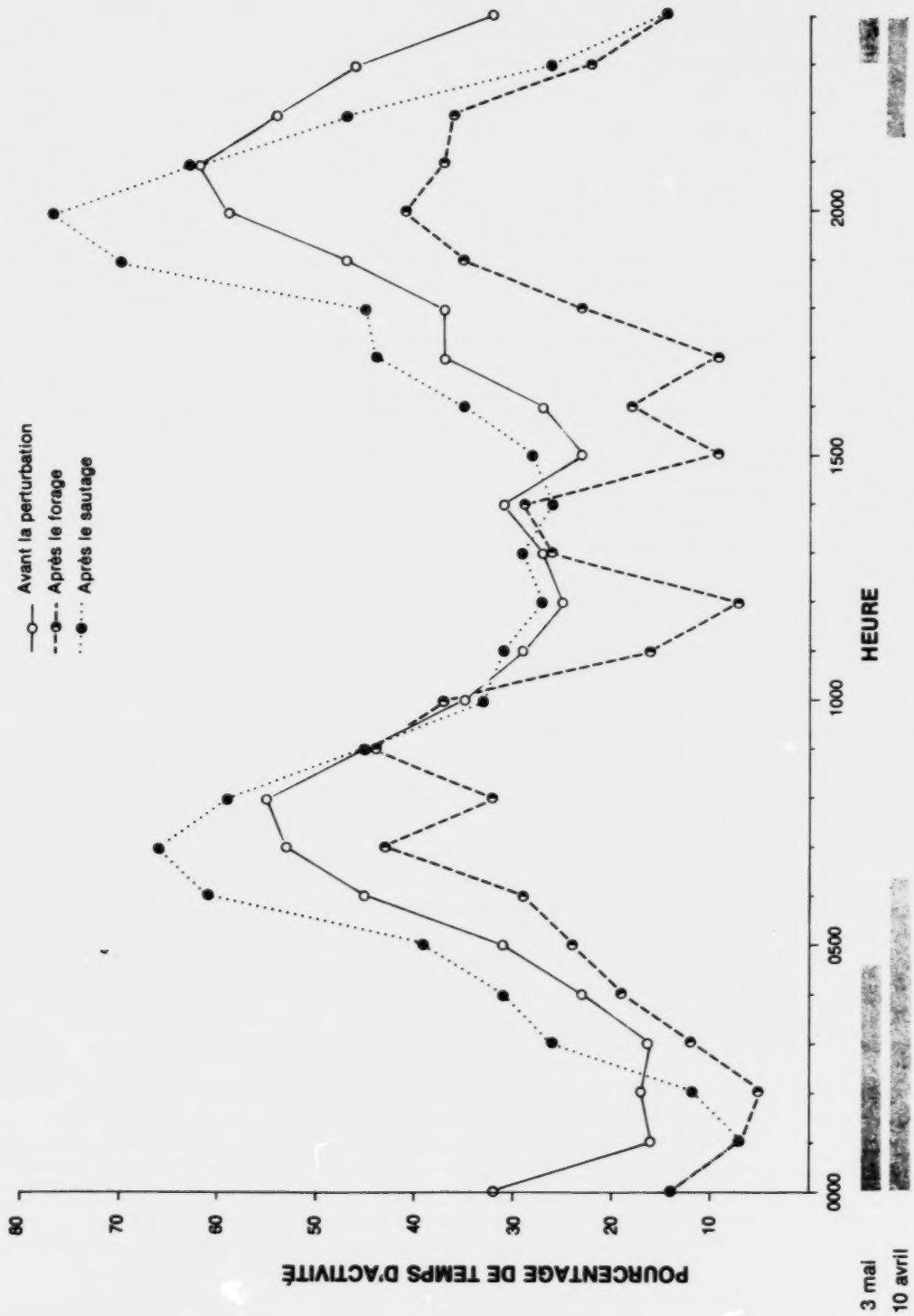


Figure 7: Activité dielle de 11 rats musqués des groupes familiaux 1 et 3.

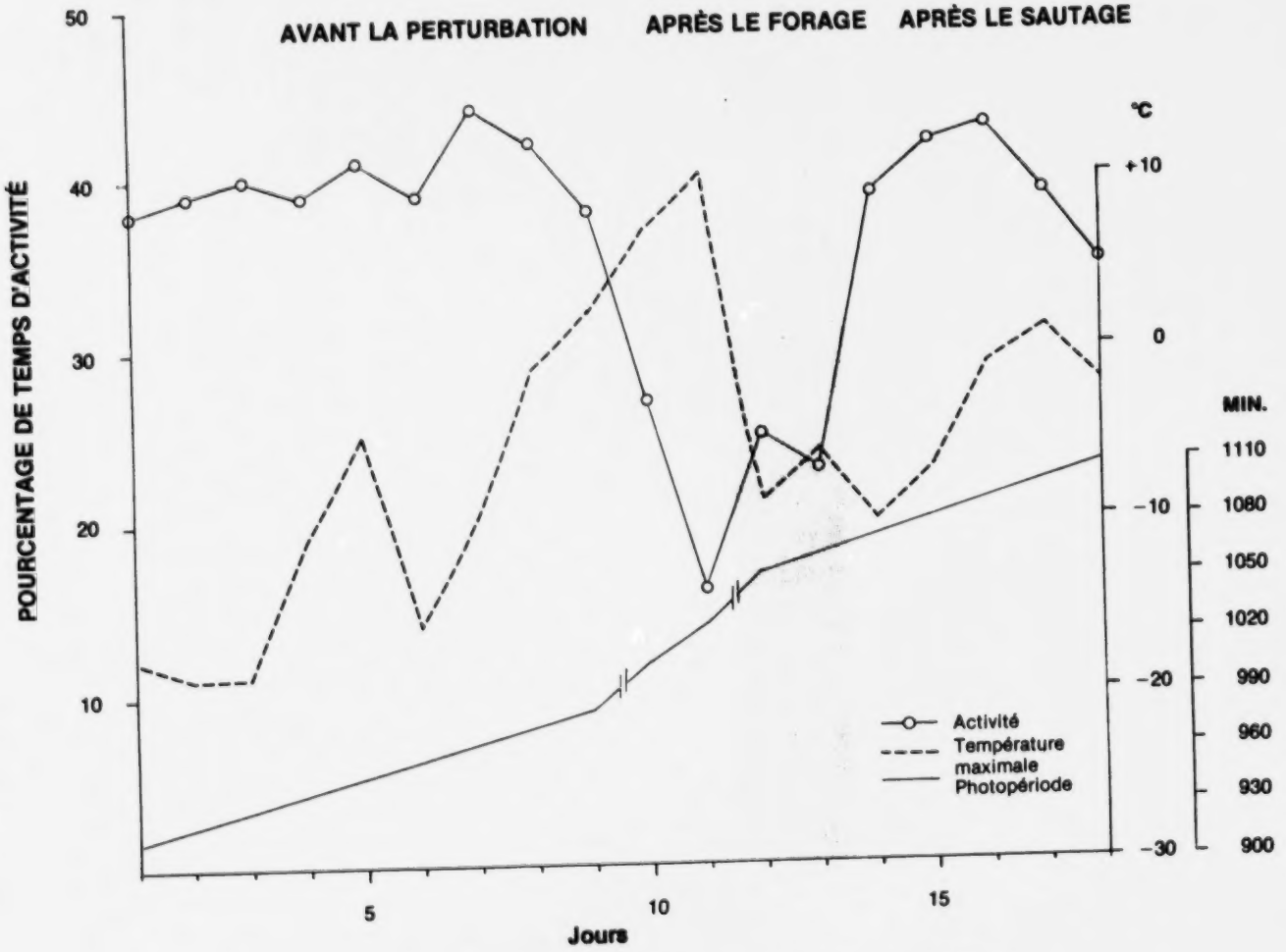


Figure 8: Niveaux moyens d'activité de 11 rats musqués par rapport aux perturbations, à la photopériode et à la température maximale.

Les variables indépendantes définies dans l'analyse comme principaux effets étaient l'âge, le sexe, le groupe familial et l'état. L'état s'entend des trois catégories de perturbation (1 - avant la perturbation, 2 - après le forage, 3 - après le sautage).

Les précipitations étaient considérées au début comme une variable indépendante. Cependant, fait exceptionnel, plus que des traces de neige sont tombées seulement pendant la période postérieure au forage. Ce phénomène a produit une corrélation parfaite entre deux variables indépendantes, situation appelée multicolinéarité dans la régression, qui empêche les calculs de l'analyse (Nie et al 1975). Afin de déterminer la variance expliquée due à l'état, il a été jugé nécessaire d'exclure le facteur précipitations de l'analyse.

Le tableau 1 présente les résultats de l'analyse de covariance, en pourcentages de temps d'activité. Les essais F indiquent les effets significatifs ($P \leq 0.05$) dus à la durée de l'ensoleillement, à l'état et à la famille. La température maximale a une signification de 0.07. Le seul effet jugé très significatif ($P \leq 0.01$) était l'état, qui représentait presque le quart de la variance expliquée. Parmi les interactions examinées, seules la famille et le sexe avaient un effet significatif.

Le fait que l'effet de l'état soit apparu significatif veut dire seulement que la moyenne d'au moins une catégorie d'état différait de la moyenne générale. En examinant la variation au moyen d'une analyse de classement multiple (tableau 2), il apparaît clairement que presque toute la variance due aux perturbations se manifeste après le forage. L'avant-dernière colonne du tableau montre dans quelle mesure la moyenne s'écarte de la moyenne générale pour chaque catégorie quand elle est rectifiée pour tenir compte des autres variables. Dans ce cas, l'écart pour l'après-forage est -11.54, tandis que l'écart pour les périodes antérieures aux perturbations et postérieures au sautage sont presque semblables (1.16 et 2.18 respectivement). Enfin, le coefficient de détermination (R^2) de la dernière colonne indique qu'environ 36% de la variation de l'activité s'explique par les effets cumulatifs des variables et les effets principaux analysés.

Quand le nombre des déplacements quotidiens est examiné de la même façon, les résultats diffèrent substantiellement (tableau 3, figure 9). Encore une fois, la durée de l'ensoleillement est la seule variable significative. Cependant, parmi les effets principaux, le groupe familial, l'âge et le sexe sont très significatifs ($P \leq 0.001$). L'état n'a apparemment eu aucun effet sur les déplacements des rats musqués. L'analyse de classement multiple (tableau 4) indique une légère augmentation échelonnée du nombre de déplacements quotidiens pendant les trois périodes de perturbation. De façon significative, un moins grand nombre de déplacements quotidiens ont été observés parmi les adultes, les femelles et les individus du groupe familial 3. La valeur R^2 indique que seulement environ le quart de la variation de la variable dépendante peut être expliquée par les variables indépendantes examinées.

Tableau 1. Analyse de covariance pour la proportion de temps d'activité.

```
* * * * * * * * * * A N A L Y S I S   O F   V A R I A N C E * * * * * * * * * *
            ACTIVE   % OF TIME ACTIVE
         BY STATE
            FAMILY
            AGE
            SEX
       WITH MAXTEMP  MAXIMUM TEMPERATURE C
            MINTEMP  MINIMUM TEMPERATURE C
            MEANTEMP MEAN TEMPERATURE C
            DAYLIGHT NUMBER OF MINUTES OF DAYLIGHT
            PRESSURE MEAN DAILY PRESSURE MB
* * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
```

SOURCE OF VARIATION	SUM OF SQUARES	DF	MEAN SQUARE	F	SIGNIF OF F
COVARIATES	5850.168	5	1170.033	14.050	0.000
MAXTEMP	277.565	1	277.565	3.333	0.070
MINTEMP	128.314	1	128.314	1.541	0.216
MEANTEMP	132.245	1	132.245	1.588	0.209
DAYLIGHT	497.299	1	497.299	5.972	0.016
PRESSURE	93.511	1	93.511	1.123	0.291
MAIN EFFECTS	3209.644	5	641.969	7.709	0.000
STATE	2644.500	2	1322.250	15.879	0.000
FAMILY	451.966	1	451.966	5.427	0.021
AGE	1.260	1	1.260	0.015	0.902
SEX	10.799	1	10.799	0.130	0.719
2-WAY INTERACTIONS	1750.000	8	218.750	2.627	0.010
STATE FAMILY	426.569	2	213.284	2.561	0.080
STATE AGE	103.705	2	51.853	0.623	0.538
STATE SEX	314.799	2	157.400	1.890	0.154
FAMILY SEX	923.867	1	923.867	11.094	0.001
AGE SEX	227.751	1	227.751	2.735	0.100
3-WAY INTERACTIONS	245.512	4	61.379	0.737	0.568
STATE FAMILY SEX	158.008	2	79.004	0.949	0.389
STATE AGE SEX	181.697	2	90.848	1.091	0.338
EXPLAINED	11055.523	22	502.524	6.034	0.000
RESIDUAL	14323.422	172	83.276		
TOTAL	25378.945	194	130.819		

198 CASES WERE PROCESSED.
3 CASES (1.5 PCT) WERE MISSING.

Tableau 2. Analyse de classement multiple pour la proportion de temps d'activité.

```
* * *   M U L T I P L E   C L A S S I F I C A T I O N   A N A L Y S I S   * * *
          ACTIVE    % OF TIME ACTIVE
     BY   STATE
          FAMILY
          AGE
          SEX
     WITH CAATEMP   CAIRO* TEMPERATURE C
          PINTEMP   PINTEMP TEMPERATURE C
          HEATTEMP  HEAT TEMPERATURE C
          DAYLIGHT  NUMBER OF MINUTES OF DAYLIGHT
          PRESSURE  MEAN DAILY PRESSURE MB
* * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *

GRAND MEAN =     35.80

                                                                  ADJUSTED FOR
                                                 ADJUSTED FOR     INDEPENDENTS
                                  UNADJUSTED     INDEPENDENTS     + COVARIATES
VARIABLE + CATEGORY          N    DEV'N   BETA   DEV'N   BETA     DEV'N   BETA

STATE
    1 PREDISTRUBANCE       121     0.58                             1.16
    2 POST DRILLING         22   -11.36                           -11.54
    3 POST BLASTING         52     3.43                             2.15
                                          0.37                             0.36

FAMILY
    1 GR1                  123     1.29                             1.32
    2 GR2                   72    -2.26                            -2.26
                                          0.15                             0.15

AGE
    1 ADULTS                54     1.26                            -0.15
    2 JUVENILE             141    -0.48                             0.06
                                          0.07                             0.01

SEX
    1 MALE                  87    -0.44                            -0.27
    2 FEMALE               108     0.36                             0.21
                                          0.03                             0.02

MULTIPLE R SQUARED                                                   0.357
MULTIPLE R                                                           0.597
```

Tableau 3. Analyse de covariance pour le nombre de déplacements quotidiens.

```
* * * * * * * * * * * A N A L Y S I S   O F   V A R I A N C E * * * * * * * * * * *
            MOVEMENT % OF NUMBER OF MOVEMENTS
         BY STATE
            FAMILY
            AGE
            SEX
       WITH MAXTEMP  MAXIMUM TEMPERATURE C
            MINTEMP  MINIMUM TEMPERATURE C
            MEANTEMP MEAN TEMPERATURE C
            DAYLIGHT NUMBER OF MINUTES OF DAYLIGHT
            PRESSURE MEAN DAILY PRESSURE MB
* * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *
```

SOURCE OF VARIATION			SUM OF SQUARES	DF	MEAN SQUARE	F	SIGNIF OF F
COVARIATES			764.239	5	156.848	2.322	0.045
MAXTEMP			158.190	1	158.190	2.342	0.128
MINTEMP			2.314	1	2.314	0.034	0.853
MEANTEMP			88.282	1	88.282	1.307	0.255
DAYLIGHT			338.615	1	338.615	5.013	0.026
PRESSURE			144.342	1	144.342	2.137	0.146
MAIN EFFECTS			3425.241	5	685.048	10.142	0.000
STATE			88.994	2	44.497	0.659	0.519
FAMILY			847.590	1	847.590	12.548	0.001
AGE			1009.055	1	1009.055	14.939	0.000
SEX			1839.089	1	1839.089	27.227	0.000
2-WAY INTERACTIONS			520.238	8	65.030	0.963	0.467
STATE	FAMILY		31.737	2	15.868	0.235	0.791
STATE	AGE		195.148	2	97.574	1.445	0.239
STATE	SEX		48.595	2	24.298	0.360	0.698
FAMILY	SEX		54.167	1	54.167	0.802	0.372
AGE	SEX		1.308	1	1.308	0.019	0.889
3-WAY INTERACTIONS			610.684	4	152.671	2.260	0.065
STATE	FAMILY	SEX	524.770	2	262.385	3.885	0.022
STATE	AGE	SEX	115.087	2	57.543	0.852	0.428
EXPLAINED			5340.402	22	242.746	3.594	0.000
RESIDUAL			11617.863	172	67.546		
TOTAL			16958.266	194	87.414		

198 CASES WERE PROCESSED.
3 CASES (1.5 PCT) WERE MISSING.

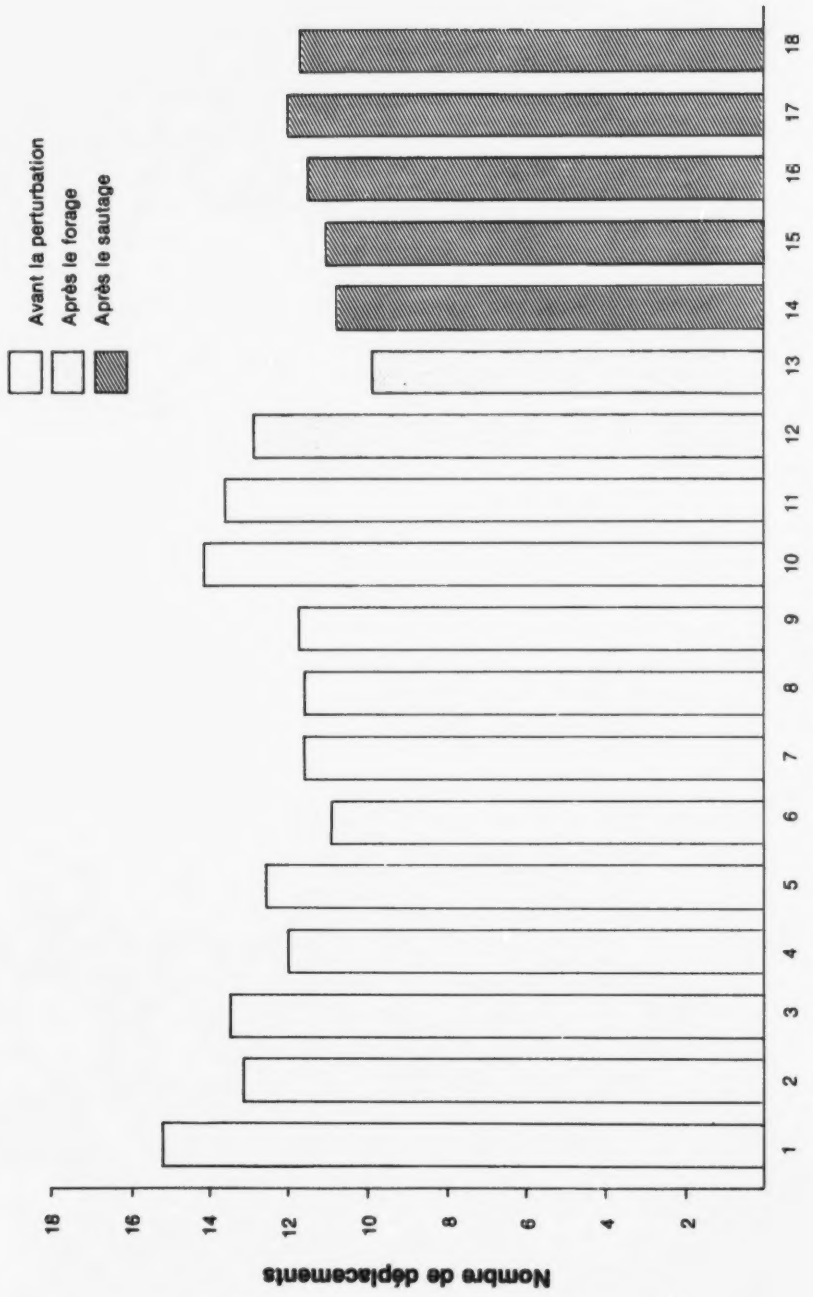


Figure 9: Nombre moyen de déplacements quotidiens faits par 11 rats musqués par rapport à la période de perturbation.

Tableau 4. Analyse de classement multiple pour le nombre de déplacements quotidiens.

```
* * *   M U L T I P L E   C L A S S I F I C A T I O N   A N A L Y S I S   * * *
          MOVEMENT % OF NUMBER OF MOVEMENTS
     BY   STATE
          FAMILY
          AGE
          SEX
     WITH MAXTEMP  MAXIMUM TEMPERATURE C
          MINTEMP  MINIMUM TEMPERATURE C
          MEANTEMP MEAN TEMPERATURE C
          DAYLIGHT NUMBER OF MINUTES OF DAYLIGHT
          PRESSURE MEAN DAILY PRESSURE MB
* * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * *

GRAND MEAN =    25.77

                                                                ADJUSTED FOR
                                                 ADJUSTED FOR   INDEPENDENTS
                                  UNADJUSTED     INDEPENDENTS   + COVARIATES
VARIABLE + CATEGORY          N    DEV'N   BETA   DEV'N   BETA   DEV'N   BETA

STATE
    1 PREDISTRUBANCE        121     0.94                          -3.99
    2 POST DRILLING          22    -1.45                           3.49
    3 POST BLASTING          52    -1.58                           7.80
                                           0.13                           0.56

FAMILY
    1 GR1                   123     0.68                           1.81
    2 GR2                    72    -1.16                          -3.10
                                           0.10                           0.25

AGE
    1 ADULTS                 54    -3.10                          -4.20
    2 JUVENILE              141     1.19                           1.61
                                           0.21                           0.28

SEX
    1 MALE                   87     3.66                           3.46
    2 FEMALE                108    -2.95                          -2.79
                                           0.35                           0.33

MULTIPLE R SQUARED                                                        0.246
MULTIPLE R                                                                0.498
```

4.5 Effets de l'activité sismique sur l'utilisation des huttes et des terriers de berge

MacArthur (1977) indique que la survie hivernale des rats musqués adaptés au froid dépend de la thermorégulation comportementale. Cette fonction peut comporter la régulation de la température du corps par la modification de la fréquence et de la durée de la fréquentation des huttes et des terriers. Par conséquent, les perturbations qui changent considérablement ces habitudes pourraient briser ce délicat équilibre énergétique et avoir un effet néfaste sur la survie de la population. C'est pourquoi une étude a tenté de déterminer si la fréquentation des refuges était perturbée par l'activité sismique.

Les modes de fréquentation des refuges avant et après les perturbations ont été analysés chez les groupes familiaux 1 et 3. Étant donné qu'il a été retiré de la zone de perturbations intenses, le groupe 3 a servi de témoin. Comme l'indique la figure 3, le groupe 1 a fréquenté 3 terriers et 10 huttes (7 stations). Les huttes étaient situées à une distance de 61 à 199 m de l'explosion la plus proche, et de 52 à 125 m de la station 1, le terrier le plus fréquenté. Le groupe 3 a occupé 6 huttes (4 stations) qui se trouvaient à une distance de 159 à 189 m de l'explosion la plus proche, et de 40 à 149 m de la station 18, le seul terrier fréquenté par ce groupe. La station 18 était située à 204 m de l'explosion la plus proche.

4.5.1 Fréquentation des huttes

Tout en tenant compte de changements possibles de régime de fréquentation des huttes dus aux perturbations, deux hypothèses ont été étudiées. La première supposait une occupation réduite des huttes près des perturbations et une occupation accrue de celles les plus éloignées, tandis que la seconde hypothèse avançait que les perturbations pourraient inciter les rats musqués à rechercher la sécurité de leurs terriers et, par conséquent, fréquenteraient davantage les huttes les plus proches.

Au cours de l'analyse des données, chaque catégorie de perturbation a été traitée individuellement. Afin de corriger les données pour tenir compte des observations manquantes et des pannes de l'équipement, une normalisation a été effectuée au moyen d'un indice d'activité basé sur le nombre d'observations/nombre d'observations possibles x 1000. L'analyse de régression linéaire a été utilisée pour déterminée si la fréquentation des huttes était déterminée par l'éloignement de la perturbation ou des terriers de berge. Dans les deux cas, la signification de la régression a été examinée 1) quant à chaque période de perturbations et aux différences entre ces périodes et, 2) quant aux modifications de la fréquentation d'après le rapport occupation avant la perturbation/occupation après le forage et le sautage. Enfin, des essais t ont été utilisés pour examiner la signification des changements observés dans la fréquentation des huttes individuelles.

4.5.1.1 Relations avec l'éloignement de la perturbation

Les résultats de l'analyse de régression linéaire indiquent qu'il n'existe de rapport significatif entre l'occupation des huttes et l'éloignement du trou de tir le plus près pour aucune des périodes d'activité (tableau 5). De même, les régressions ne diffèrent par entre elles de façon significative dans le cas des groupes 1 et 3.

Cette tendance apparaît plus clairement quand le rapport occupation avant la perturbation/occupation après la perturbation est examiné comme fonction de la distance. Aucun changement dans la fréquentation relative des huttes n'a été observé après le forage ou le sautage (tableau 5). Comme l'illustre la figure 10 pour l'échantillon combiné, la pente de la ligne de régression tend vers 0 ($\underline{t} = 0.37$, $\underline{P} > 0.50$), signe qu'il n'y a aucun changement dans l'occupation des huttes avec l'éloignement de la perturbation.

De même, les différences dans l'occupation des huttes individuelles semblent indépendantes de l'éloignement de la perturbation (tableau 6). Des changements significatifs ont été découverts à deux des sept (29%) stations fréquentées par le groupe 1 et à trois des quatre (75%) stations occupées par le groupe 3. La distance moyenne séparant les huttes du groupe 3 du point de tir le plus près ($\bar{x} = 176$ m) était substantiellement plus élevée que dans le cas du groupe 1 ($\bar{x} = 83$ m). Aucun changement mesurable n'est apparu de la période antérieure à la perturbation à celle postérieure au forage. Pour les quatre changements significatifs entre la période antérieure à la perturbation et celle postérieure au sautage, l'occupation a baissé dans le cas d'une hutte (H) (H 12: $\underline{t} = 2.92$, $\underline{P}$ 0.05) et augmenté dans le cas des autres (H 5: $\underline{t} = 3.85$, $\underline{P}$ 0.01; H 20: $\underline{t} = 6.82$, $\underline{P}$ 0.001; H 21: $\underline{t} = 3.27$, $\underline{P}$ 0.05).

4.5.1.2 Relation avec l'éloignement du terrier

Les résultats résumés au tableau 7 indiquent que la fréquentation des huttes ne varie pas selon l'éloignement du terrier avant ou après le forage et le sautage. Les pentes de régression ne s'écartaient significativement de 0 ou entre elles dans aucune des catégories d'analyse. L'hypothèse est également rejetée quand les rapports mesurant les changements dans la fréquentation des huttes font l'objet d'une régression selon l'éloignement du terrier (figure 11).

4.5.2 Fréquentation des terriers

L'hypothèse selon laquelle les perturbations inciteraient les rats musqués à fréquenter davantage les terriers éloignés aux dépens de ceux les plus rapprochés a été examinée en soumettant chaque terrier à une analyse de variance. L'indice de fréquentation des terriers (nombre d'observations/nombre total possible d'observations x 1000) a été modifié afin de répondre aux exigences d'analyse de variance au moyen de la transformation de la fonction Arc sinus.

Tableau 5. Analyse de régression linéaire de la fréquentation des huttes selon l'éloignement de la perturbation.

	Équation de régression	Signification			
		Pente		Diff. des pentes	
		t	Prob.	t	Prob.
G.F. 1					
Avant la perturbation	Y = 16.57-0.11X	-0.97	$P > 0.30$	0.55	$P > 0.50$
Après le forage	Y = 7.68-0.03X	-0.46	$P > 0.50$	0.81	$P > 0.40$
Après le sautage	Y = 6.68+0.02X	0.15	$P > 0.50$		
Après le forage/ avant la perturbation	Y = 3.10+0.05X	0.87	$P > 0.40$		
Après le sautage/ avant la perturbation	Y = 0.72+0.13X	1.28	$P > 0.20$		
G.F. 3					
Avant la perturbation	Y = 33.45-0.06X	-0.09	$P > 0.90$	0.21	$P > 0.50$
Après le forage	Y = 53.72-0.22X	-0.61	$P > 0.50$	0.18	$P > 0.50$
Après le sautage	Y = 69.22-0.25X	-0.32	$P > 0.50$		
Après le forage/ avant la perturbation	Y = 36.72-0.17X	-1.37	$P > 0.30$		
Après le sautage/ avant la perturbation	Y = 88.07-0.42X	-0.88	$P > 0.40$		

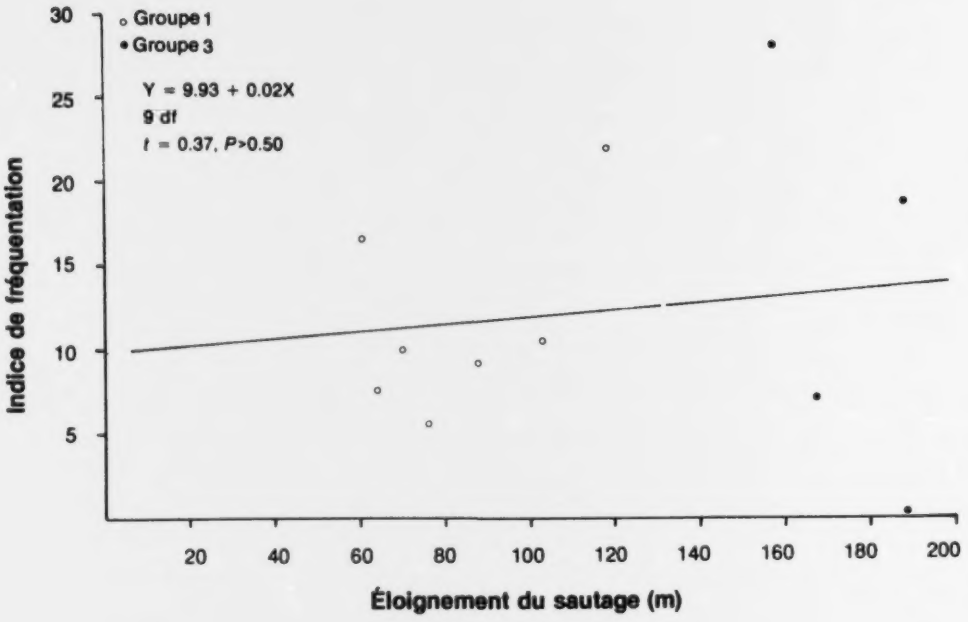


Figure 10: Régression selon l'après-sautage: fréquentation des huttes avant la perturbation en fonction de l'éloignement du trou de tir le plus proche pour les groupes familiaux 1 et 3 combinés.

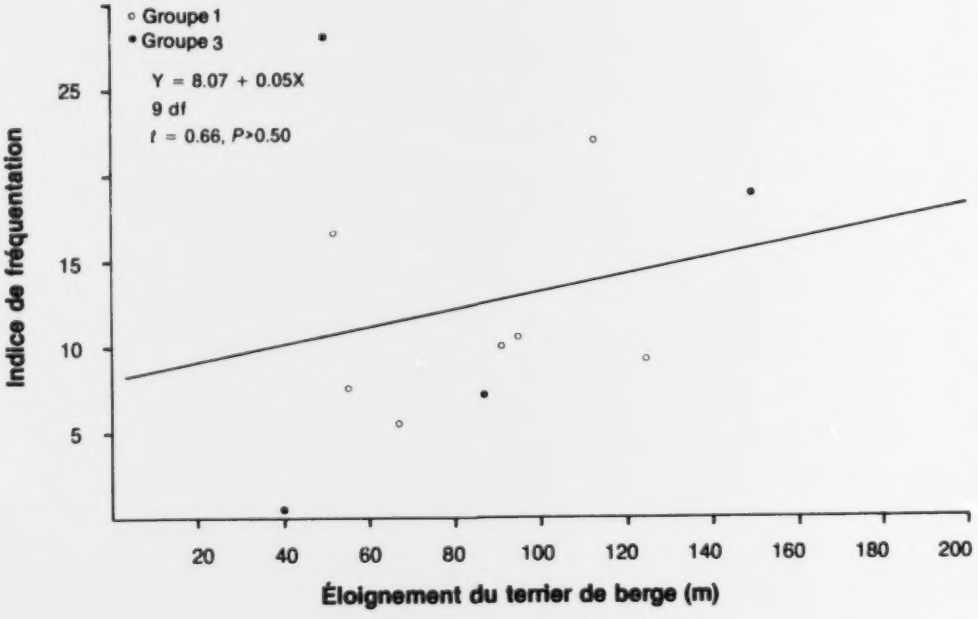


Figure 11: Régression selon l'après-sautage: fréquentation des huttes avant la perturbation en fonction de l'éloignement du terrier de berge pour les groupes familiaux 1 et 3 combinés.

Tableau 6. Fréquentation des huttes par rapport à la perturbation, à l'éloignement du terrier de berge et au point de tir le plus proche. Les lignes indiquent les changements significatifs ($P < 0.05$).

Stations	Indice de fréquentation[1]			Distance	
	Avant la perturbation	Après le forage	Après le sautage	Point de sautage le plus proche (m)	Terrier de berge le plus proche (m)
G.F. 1					
2	2.11	2.02	3.52	61	52
3	18.64	11.84	14.20	64	55
4	2.27	2.02	2.39	103	95
5	5.96	6.30	13.07	119	113
6	7.37	4.79	4.15	76	67
8	10.70	5.29	10.68	70	91
10	7.98	2.02	7.41	88	125
G.F. 3					
12	15.19	7.01	0.67	189	40
19	42.83	27.26	30.70	168	87
20	9.72	12.46	27.33	159	50
21	22.33	15.58	42.17	189	149

[1]nombre d'observations/observations totales possibles x 1000

Tableau 7. Analyse de régression linéaire de la fréquentation des huttes selon l'éloignement du terrier de berge.

	Équation de régression	Signification			
		Pente		Diff. des pentes	
		t	Prob.	t	Prob.
G.F. 1					
Avant la perturbation	$Y = 11.61 - 0.04X$	0.51	$P > 0.50$	0	$P = 1.00$
Après le forage	$Y = 8.75 - 0.05X$	0.84	$P > 0.40$	0.58	$P > 0.50$
Après le sautage	$Y = 5.98 + 0.02X$	0.31	$P > 0.50$		
Après le forage/ avant la perturbation	$Y = 9.68 + 0.03X$	0.73	$P > 0.50$		
Après le sautage/ avant la perturbation	$Y = 7.50 + 0.05X$	0.57	$P > 0.50$		
G.F.					
Avant la perturbation	$Y = 13.61 + 0.11X$	0.57	$P > 0.50$	0.18	$P > 0.50$
Après le forage	$Y = 9.84 + 0.07X$	0.63	$P > 0.50$	0.75	$P > 0.50$
Après le sautage	$Y = 1.59 + 0.29X$	2.03	$P > 0.10$		
Après le forage/ avant la perturbation	$Y = 8.46 - 0.01X$	0.19	$P > 0.50$		
Après le sautage/ avant la perturbation	$Y = 9.04 + 0.06X$	0.35	$P > 0.50$		

Les résultats résumés au tableau 8 montrent que tous les terriers de berge (TB) visités par le groupe 1 ont vu leur fréquentation quotidienne varier selon le traitement qu'ils ont subi (TB 1: $F = 29.24$, $P < 0.001$; TB 7: $F = 16.84$, $P < 0.001$; TB 9: $F = 4.26$, $P < 0.05$). Ce changement était toutefois inversement relié à la distance des trous de tir. La station 1, où était le terrier le plus proche, a été davantage fréquentée après le forage ($t = 5.51$, $P < 0.001$) et le sautage ($t = 10.17$, $P < 0.001$), tandis que l'occupation des stations 7 et 9 a décru après les deux forages (TB 7: $t = 6.96$, $P < 0.001$; TB 9: $t = 1.00$, non précisé) et le sautage (TB 7: $t = 2.57$, $P < 0.05$; TB 9: $t = 2.64$, $P < 0.05$). Il est à noter que la fréquentation de chaque terrier dans le domaine vital n'est pas strictement indépendante, car une occupation accrue d'un terrier entraînera probablement une diminution de la fréquentation de l'un ou des deux autres terriers. Comparativement, le temps que le groupe familial n° 3 a passé à la station 18 est demeuré inchangé entre la période antérieure à la perturbation et celle postérieure au forage, et n'a décru que légèrement après le sautage ($F = 3.08$, $P < 0.05$).

4.6 Effets physiques du sautage sur les rats musqués

En 1976, des animaux captifs ont été exposés à des explosions sismiques afin d'étudier l'importance des blessures causées par le sautage (Westworth 1977). Les animaux ont été placés dans des huttes, dans des terriers de berge artificiels et sous l'eau en diverses conditions expérimentales. Des charges de 11.3 et 22.6 kg ont été utilisées dans deux lacs étudiés. Les autopsies ont montré que les effets pathologiques étaient faibles et consistaient surtout en hémorragies le long des sutures de l'oreille moyenne et en légers dommages pulmonaires sous la forme d'hémorragies pétéchiales. Les seuls animaux blessés avaient été placés sous l'eau à 15 m du trou de tir ou dans des terriers artificiels. Aucun des caractères anormaux découverts n'est apparu chez les animaux non exposés au sautage.

Les études effectuées en 1977 ont permis de déterminer jusqu'à quel point des animaux complètement libres d'aller et venir dans leur milieu naturel pouvaient être blessés par le sautage. Tous les rats musqués porteurs d'un émetteur ont fait l'objet d'une autopsie à la fin de la surveillance, le 3 mai.

Il s'agissait surtout de déterminer les circonstances entourant la mort, à la station 14, de trois rats musqués porteurs d'un émetteur après l'explosion dans le trou de tir n° 1, le 28 avril. Les observations du sautage et du comportement subséquent des animaux ne sont que partiellement utiles à cet égard. Bien qu'une certaine quantité de matériaux aient été projetés hors du trou, la majeure partie de l'énergie libérée l'a été vers le bas, et l'explosion a été jugée normale. Comme plusieurs autres, elle a causé une fissuration étendue de la glace, mais, dans ce cas, un écoulement d'eau a été perçu à un point situé à 2 m devant le terrier.

Tableau 8. Fréquentation des terriers de berge par rapport à la perturbation et à l'éloignement du point de tir le plus proche. Les lignes indiquent les changements significatifs ($P < 0.05$).

Station	Indice de fréquentation			Distance
	Avant la perturbation	Après le forage	Après le sautage	Sautage le plus proche (m)
G.F. 1				
1	43.63	88.44	75.26	12
7	29.98	17.57	8.29	46
9	15.03	5.09	2.51	20
G.F. 3				
18	169.56	163.59	144.76	204

[1]Nombre d'observations/observations totales possibles x 1000

Un creusage intense d'une durée de deux jours a permis d'enlever les 120 cm de sol gelé qui recouvraient les animaux morts. Le terrier était stratifié verticalement et comportait un certain nombre de chambres et de passages (photo 7). Les chambres contenant les sujets morts et les seules à montrer des signes d'occupation récente étaient situées au plus bas niveau. Trois animaux ont été découverts, les n^{os} 460, 471 et 474 (le dernier ne possédait pas d'émetteur). Nous n'avons pas eu le temps de poursuivre le creusage afin de localiser le n° 465, bien qu'il se trouvât probablement à proximité.

Les n^{os} 471 et 474 ont été retrouvés dans une chambre de repos très fréquentée (photo 8). Une couche de glace régulière immédiatement au-dessus et en-dessous de la tête du n° 474 (à gauche sur la photographie) a permis d'établir que l'animal se trouvait dans un lieu habituel de repos. Le n° 460 a été retrouvé dans un passage à 1 m plus loin. Au moment de sa mort, l'animal se dirigeait vers la chambre abritant les deux autres rats musqués. Il n'y avait aucune nourriture dans le terrier rats musqués. Il n'y avait aucune nourriture dans le terrier et aucun signe d'inondation ou d'éboulement.

Les trois animaux étaient en bonne condition physique avant leur mort, comme l'indique la présence d'une couche de graisse sous-cutanée de moyenne à épaisse, et l'absence de blessures ou de lésions. La décomposition était minimale, étant donné le gel des corps peu après la mort et leur maintien dans cet état jusqu'à l'autopsie. Les nécropsies ont été effectuées dans le Laboratoire vétérinaire de l'Alberta à Edmonton, le 18 mai, par le docteur B.E. Beck. Les résultats, présentés à l'annexe I, n'indiquent aucun trauma ou aucune blessure qui auraient pu être causés par des changements de pression ou des vibrations provoquées par le sautage.

Tous les rats musqués porteurs d'un émetteur qui ont survécu ont été examinés sur le terrain immédiatement après leur capture. Deux d'entre eux, qui occupaient la station 1 pendant le sautage, ont présenté des signes d'hémorragie dans l'oreille moyenne. Le n° 452 souffrait d'une hémorragie modérément grave dans l'oreille gauche, tandis que le n° 473 présentait une légère hémorragie dans les deux oreilles. Les membranes tympaniques étaient intactes dans les deux cas. Tous les autres rats musqués ont été jugés normaux. Chez la plupart des animaux, certaines parties des poumons étaient congestionnées en raison de l'hypostase après la mort. Les surrénales étaient normales quant à la taille et au poids et ne présentaient aucun signe d'hypertrophie dans la zone fasciculée, anomalie qui avait été découverte antérieurement chez les rats musqués perturbés (Westworth 1977).

En raison des difficultés inhérentes à l'installation d'indicateurs de pression dans les terriers de rats musqués, les effets observés n'ont pu être comparés aux modifications dans la pression de l'air pendant le sautage. Les changements de pression hydrostatique ont été contrôlés au cours d'expériences effectuées en 1976 (ibid.). Cependant, il est possible que les méthodes employées aient entraîné une sous-estimation des pressions maximales par suite de la distorsion d'amplitude du front d'ondes initial. Le problème tenait à ce que les filtres anti-dénaturants modifiaient les signaux enregistrés sismographiquement en éliminant les très hautes fréquences. Un moyen plus direct consiste à mesurer l'amplitude de l'onde de pression maximale enregistrée photographiquement à partir d'un oscilloscope à deux faisceaux

(Elder et Prudholme 1975). En avril 1977, Gulf Canada a fait des essais de mesure de pression, en utilisant cette dernière méthode, sur un lac semblable au point de vue morphologique (annexe II). Les essais, qui ont porté sur toutes les conditions expérimentales de la présente étude, ont montré que les changements de pression sous l'eau pendant le sautage sismique dans le Delta étaient extrêmement limités et restaient à l'intérieur de la gamme obtenue antérieurement. Les valeurs maximales relevées étaient de 0.0115 liv/po^2 en phase de pression de pointe et de 0.0125 liv/po^2 en phase de raréfaction de pointe. Ces valeurs basses semblent expliquer l'absence de blessures attribuables à la pression chez les rats musqués qui se nourrissaient pendant le sautage, y compris le n° 469 qui nageait sous l'eau au moment d'une explosion à 120 m de distance.

Photo 7. Excavation d'un terrier de berge (station 14) montrant la stratification verticale des chambres. Seules les chambres les plus basses ont été fréquentées à la fin de l'hiver.

Photo 8. Deux des quatre rats musqués morts à la station 14 après le sautage sismique.

5.0 DISCUSSION

Les méthodes utilisées au cours de la présente étude nous ont permis de montrer clairement les réactions comportementales spécifiques des rats musqués à divers types de perturbations reliés à l'activité sismique et également de déterminer si ces perturbations modifient les schèmes d'activité à long terme. Les réactions comportementales des individus pendant le forage et le sautage aident à interpréter les résultats dans les sections de l'étude qui portent sur le stress et les blessures subis par les animaux exposés au sautage. Les modifications dans les schèmes d'activité sont plus significatifs quand on considère les facteurs de nature à changer les tendances à long terme de la survie hivernale ou de la reproduction.

Les résultats des deux types d'observations concordent. En ce qui concerne les réactions immédiates au forage, il ressort que seul le vol de l'hélicoptère a pu perturber les animaux. Cependant, les rats musqués n'ont pas réagi au forage effectué à 60 m ou plus de leurs terrier de berge ou de leurs huttes. L'analyse de la variation dans le schèmes d'activité (alimentation) a indiqué que, malgré le changement significatif observé dans les niveaux d'activité selon les opérations sismiques, ces modifications étaient limitées à une période de deux jours séparant le forage et le sautage. La proportion de temps consacrée à la recherche de nourriture et au repos, le nombre de déplacements quotidiens et les rythmes d'activité dielle sont demeurés essentiellement les mêmes avant la perturbation et après le sautage.

En examinant les effets observés du forage, il est à noter que les conditions expérimentales n'étaient pas strictement typiques, car, bien que l'emploi des foreuses héliportées soit généralisé dans les régions éloignées, la majeure partie de l'exploration sismique dans le delta du Mackenzie s'effectue à partir de véhicules chenillés. Conséquemment, les perturbations causées par les vols d'hélicoptère n'entrent pas en jeu au cours d'explorations de type courant. La présente étude ne permet pas de juger de l'ampleur de tous les effets ajoutés possibles dus au déplacement et au fonctionnement des véhicules chenillés de surface.

Les explosions ont eu un effet dichtomique. La détonation de charges de 11.3 kg n'a eu aucun effet quand les terriers étaient situés à 60 m ou plus des trous de tir et n'a provoqué qu'une réaction temporaire à une distance d'environ 12 m. Cependant, l'explosion d'une charge de 6.8 kg dans un trou de tir situé à 12 m de la station 14 a causé la mort de quatre rats musqués.

Les derniers résultats contredisent les quatre séries antérieures de données. Il s'agit là d'une situation inhabituelle, car, selon l'autopsie approfondie effectuée sur les quatre animaux morts, aucun d'entre eux ne présentait des blessures causées par le sautage. Les lésions traumatiques, qui sont habituellement causées par des modifications dans la pression de l'air ou de l'eau ou le mouvement du sol (Rausch 1973, Chiffelle et al 1968, White et al 1970), ou qui sont apparues sous une forme moins grave dans certaines de nos expériences antérieures (Westworth 1977), étaient absentes dans ce cas.

Deux explications possibles découlent de l'absence de résultats pathologiques et des observations consignées au moment du sautage. La mort aurait pu être causée par une modification dans la composition de l'air du terrier ou directement par le bruit de l'explosion.

On sait depuis 1927 que certaines lignées d'animaux réagissent anormalement à des bruits forts par un phénomène appelé crise audiogène. Cette crise se produit apparemment quand un bruit intense stimule le système nerveux sympathique, ce qui entraîne des modifications physiologiques - convulsions, bradycardie post-convulsive, réduction des niveaux de norépinéphrine et, dans certains cas, mort due à une insuffisance respiratoire précédant une insuffisance cardiaque (Lehman 1970). La crise audiogène a été observée chez des lapins, des poulets, des chiens et des chèvres, mais elle a été le plus fréquemment étudiée chez diverses espèces de rongeurs. Dans la plupart des cas, la crise se manifeste de la même façon chez les animaux exposés à des bruits intenses. Ces derniers présentent une réaction de sursaut suivie d'une période latente de moins d'une seconde à plusieurs minutes, après quoi les animaux courent en tous sens avant d'entrer dans un état de convulsions cloniques (Lehman et Busnel 1963). Quand les convulsions se terminent par la mort, les animaux meurent généralement les yeux fermés et les pattes étendues (ibid.).

Dans une certaine mesure, les observations consignées au moment du sautage correspondent à la description ci-dessus. "Le n° 471 a réagi au tir de façon soudaine puis a commencé à aller et venir rapidement dans le terrier." Le n° 465 a également commencé à circuler, mais après être demeuré immobile pendant une minute tout de suite après le sautage. Cinq minutes après l'explosion, les deux animaux étaient immobiles et présumés morts. De plus, les positions des rats musqués morts n'excluent pas la crise audiogène. Certes, l'extension des pattes n'était pas complète, mais aucun des animaux morts ne les avait repliées sous le corps dans la position normale du sommeil (photo 6). Dans chaque cas, les yeux étaient fermés.

Bien que ces observations ne nous permettent pas de rejeter l'hypothèse d'une crise audiogène, nous considérons cette possibilité comme extrêmement improbable. La première raison en est que cette condition pathologique n'a été que rarement observée chez les animaux sauvages et jamais chez les rats musqués. Étant donné qu'elle semble associée à des défauts génétiques du système nerveux, il est improbable qu'elle se soit manifestée de façon uniforme chez quatre membres d'une population sauvage, même si ceux-ci semblent appartenir à un même groupe familial. En second lieu, l'intensité sonore de l'explosion ne semble pas se situer dans la gamme de 90 à 124 dB, celle qui causerait la crise audiogène (Lehman et Busnel 1963). Les niveaux sonores n'ont pas été enregistrés pendant l'étude, mais les observateurs installés au terrier au cours du sautage n'ont pas été incommodés outre mesure. (En ce qui concerne la réaction humaine aux niveaux de pression sonore causés par le sautage, le seuil de la douleur est situé à environ 120 dB (Bollinger 1971). L'intensité sonore a été jugée substantiellement inférieure aux niveaux sonores produits par un appareil de battage (101 dB) ou un sifflement de train (106 dB) à une distance équivalente (Quarles 1974). Le bruit était aussi très inférieur à celui de l'explosion totale du TT 3. Nous ignorons dans quelle mesure le bruit est atténué dans le terrier.

Certaines observations tendent à appuyer l'hypothèse qu'une modification de la composition gazeuse du terrier est à l'origine de la mort des rats musqués. Un glouglou a été entendu dans l'eau sous la glace devant le terrier pendant 10 secondes après le sautage. Ce bruit était peut-être dû à l'expulsion du gaz par une fissure dans le substrat créé par l'explosion. Les gaz toxiques pourraient provenir de deux sources.

Le Geogel, l'explosif utilisé au cours de l'étude et celui habituellement employé lors de travaux sismiques à terre, émet des "fumées nocives de classe 2", et son utilisation est interdite dans des endroits fermés comme les mines souterraines. Quand le Geogel explose, il libère du gaz carbonique, de l'azote, de la vapeur d'eau, de l'oxyde de carbone et certains oxydes nitreux (J. Harbourne, comm. pers.). Les deux derniers composés sont toxiques, bien que l'oxyde de carbone soit de loin le plus léthal. Les signes d'empoisonnement au CO habituellement observés lors des autopsies étaient absents chez les rats musqués morts (B. Beck, comm. pers.).

La seconde hypothèse est celle qui suppose la rupture d'une poche naturelle de méthane par suite de l'explosion et de la libération de gaz dans le terrier. Les dépôts peu profonds de gaz naturel sont apparemment communs dans le Delta et souvent libérés lors du forage de trous de tir sismique (B. Elder, J. Cooper, J. Harbourne, comm. pers.). L'accumulation de dépôts de méthane à l'intérieur de monticules en forme de dôme dans le delta du Mackenzie a été décrite par Mackay (1965). Lors de notre relevé des huttes, certaines de ces dernières contenaient du gaz des marais ou méthane sous pression. À une occasion, un de mes techniciens a allumé le gaz qui sortait d'un trou d'un centimètre de diamètre percé par une sonde de hutte. La flamme bleu clair a brûlé pendant environ 2 minutes à une hauteur de plus de 0.5 m. Le méthane provient de la décomposition anaérobie de la matière organique et s'accompagne habituellement de quantités moindres d'autres gaz, y compris, dans certains cas, d'hydrogène sulfuré.

Le méthane est un gaz incolore, inodore, non toxique et faiblement anesthésique (Gosselin et al 1976). Chez les animaux, il déprime les centres respiratoires et peut, en déplaçant l'air dans le terrier, causer la mort par anoxie. Cet état est difficile à déceler et passe inaperçu dans les spécimens gelés (B. Beck, comm. pers.). Par contre, le H_2S manifeste sa toxicité en endommageant les bronches et en provoquant l'inflammation et l'oedème des poumons. Ces symptômes ne sont toutefois pas propres au H_2S et seraient masquées par les effets de la déshydratation et la formation de cristaux de glace dans les poumons des animaux gelés (T. Shnitka, comm. pers.). L'odeur caractéristique du H_2S n'a pas été décelée au moment du sautage ou pendant l'excavation du terrier.

Les recherches antérieures ont tenté de déterminer si les rats musqués nageant sous l'eau lors d'explosions sismiques sont particulièrement exposés aux blessures causées par des changements de pression hydrostatique. Les résultats obtenus en 1976, année où des rats musqués ont été exposés expérimentalement au sautage, de même que l'observation d'un rat musqué nageant librement lors d'explosions en 1977, ont toutefois montré que les effets des explosions étaient négligeables. Ces données sont appuyées par l'extrême petitesse des modifications de pression observées (max. 0.027 liv/po^2 pour une charge de 11.3 kg à 18.3 m de la rive). Ces pressions sont très inférieures à celles qui, selon les divers ouvrages de documentation, causeraient des blessures graves ou même la mort. Par exemple, les lapins survivraient à des pressions maximales de sautage de 65 à 250 liv/po^2 lorsqu'ils sont immergés sous 1.4 m d'eau et à 280 à 940 liv/po^2 lorsqu'ils flottent à la surface, bien que les effets incluent des hémorragies pulmonaires ainsi que l'oedème et l'hyperémie des intestins (Clemedson 1948 cité par Altman et Dittmer 1966). Il semble que l'atténuation rapide des ondes de compression, au moment où l'onde de pression passe à travers la gamme d'interfaces et de milieux deltaïques dont l'impédance acoustique est très différente (par ex. la vase gelée, le fond mou du lac, l'eau), modifie la pression hydrostatique

à un niveau inférieur à celui nécessaire pour causer des blessures graves, même avec des charges de 22 kg.

Les relevés de huttes effectués en 1976 ont montré qu'il n'y avait à peu près aucun changement dans la proportion globale de huttes occupées sur les lacs témoins et ceux soumis à l'exploration sismique. Sur certains lacs cependant, la proportion de huttes occupées a augmenté à des distances supérieures à 180 m des lignes sismiques. La présente étude a permis d'examiner de plus près la relation entre la fréquentation d'abris par les rats musqués et l'éloignement des perturbations. Les résultats ont montré que ni la proximité des trous de tir sismique ni la proximité des terriers n'a eu d'effet significatif sur l'utilisation des huttes par les membres du groupe familial 1. Ainsi qu'il a été décrit, les sept animaux porteurs d'un émetteur de ce groupe familial ont occupé trois terriers dont l'éloignement du point de tir le plus proche variait de 12 à 46 m. La fréquentation des terriers les plus distants a cependant diminué avec les perturbations, tandis que le terrier le plus proche a connu une fréquentation significativement accrue ($P < 0.001$). Ces résultats indiquent clairement que ni le forage ni le sautage n'incite les rats musqués à éviter la zone de perturbation, et, de plus, ils appuient la conclusion selon laquelle l'exploration sismique n'a aucun effet majeur à long terme sur l'activité ou le comportement des rats musqués.

6.0 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Les résultats présentés plus haut confirment la conclusion préliminaire de la première année de l'étude voulant que les techniques d'exploration sismique existantes ne menacent guère les populations de rats musqués du delta du Mackenzie. Les travaux effectués au cours de 1976 et 1977 permettent de tirer les conclusions spécifiques suivantes:

a) Les faibles modifications instantanées de pression observées dans les lacs du Delta au cours du sautage sismique à des distances supérieures à 12 m de la bordure du lac ne sont pas suffisantes pour blesser grièvement ou tuer les animaux.

b) Les perturbations entraîner par l'exploration sismique n'augmentent pas de façon mesurable la tension physiologique et ne réduisent pas la reproduction effective.

c) Les perturbations entraînées par l'exploration sismique n'ont pas d'effets à long terme sur le comportement ou les schèmes d'activité des rats musqués.

d) Un petit nombre de huttes sont écrasées par le matériel lourd lors de leur traversée du lac. Cependant, l'occupation des huttes et des terriers qui ne sont pas détruits de cette manière ne semble pas reliée à l'éloignement des trous de tir.

Les conclusions ci-dessus ne doivent cependant pas être acceptées sans réserves, étant donné la mort, pendant la présente étude, des 3 de 19 rats musqués porteurs d'un émetteur. Cette mortalité, qui a probablement été causée par une infiltration de méthane naturel dans un terrier, a indirectement résulté d'une explosion sismique. La probabilité qu'un phénomène semblable se reproduise lors d'opérations normales d'exploration sismique est inconnue. Les dépôts peu profonds de méthane sont apparamment fréquents dans le Delta, mais la probabilité de leur présence près des terriers de rats musqués voisins de trous de tir est très faible.

Présentement, les permis d'utilisation des terres accordés pour l'exploration sismique interdisent le sautage à moins de 12.2 m (40 pi) des plans d'eau. D'après les résultats de l'étude, l'auteur croit que cette exigence protège assez bien les populations de rats musqués. Bien que la possibilité de mortalité par exposition aux dépôts de méthane puisse être réduite en augmentant cette distance, les données existantes ne forment pas une base scientifique suffisante pour recommander des changements.

Bien qu'il semble peu probable que la destruction des huttes par l'équipement sismique lors de sa traversée du lac soit directement responsable de la mort des rats musqués, elle modifie les régimes d'alimentation des animaux et pourrait réduire à long terme les possibilités de survie des groupes familiaux touchés. Afin de minimiser les effets néfastes de la perte de huttes sur les rats musqués et la perturbation possible du piégeage, ceux qui se livrent à des opérations sismiques devraient éviter les concentration de huttes lors des traversées de lac. Cette initiative pourrait être facilitée en montrant aux groupes de trappeurs locaux ou en affichant publiquement, bien avant les dates prévues de début des travaux, des cartes où figurerait le tracé des lignes sismiques proposées, afin de permettre aux trappeurs de marquer les huttes sur les lacs où ils se proposent de piéger. Les trappeurs ne considèrent pas cette activité comme

un inconvénient majeur, car un grand nombre d'entre eux, qui exercent leur occupation dans le Delta, marquent en général les huttes avant la période de forte accumulation de neige à la fin de l'hiver.

7.0 RÉFÉRENCES

Altman, P.L. and D.S. Dittmer. 1966. Environmental biology. Biological handbooks. Federation of American Societies for Experimental Biology, Bethesda, Maryland. 694 pp.

Aschoff, J. 1963. Comparative physiology: diurnal rhythms. Ann. Rev. Physiol. 25:581600.

Aschoff, J. 1966. Circadian activity pattern with two peaks. Ecol. 47:657-661.

Bollinger, G.A. 1971. Blast vibration analysis. Southern Illinois University Press, Carbondale, Illinois. 132 pp.

Chiffelle, T.L., R.K. Jones, D.R. Richmond and E.G. Damon. 1968. The biologic and pathologic effects of blast injury. Pages 90-105 **in:** K.M. Brinkhaus (ed.). Accident Pathology, U.S. Gov't. Printing Office, Washington, D.C.

Errington, P.L. 1963. Muskrat population. Iowa State University Press, Ames Iowa. 665 pp.

Gosselin, R.E., H.C. Hordge, R.P. Smith and M.N. Gleason. 1976. Clinical toxicology of commercial products: Acute poisoning. 4th ed. Williams & Wilkins, Baltimore.

Hawley, V.D. and L.A. Hawley. 1975. Mackenzie Delta muskrat management. Canadian Wildlife Service report. 103 pp.

Lehman, A.G. 1970. Psycopharmacology of the response to noise, with special reference to audiogenic seizure in mice. Pages 227-257 **in:** B.L. Welch and A.S. Welch (eds.). Physiological effects of noise. Plenum Press, New York.

Lehman, A.G. and R.G. Busnel. 1963. A study of audiogenic seizure. Pages 244-274 **in:** R.G. Busnel (ed.). Acoustic behavior of animals. Elsevier, Amsterdam.

MacArthur, R.A. 1977. Behavioral and physiological aspects of temperature regulation in the muskrat **(Ondatra zibethicus).** Ph.D. Thesis. Univ. of Manitoba, Winnipeg.

Mackay, J.R. 1965. Gas-domes mound in permafrost, Kendall Island, N.W.T. Geographical Bull. 7(2):105-115.

Neal, T.J. 1968. A comparison of two muskrat populations. Iowa State J. Sc., 43:193-210.

Nie, N.H., C.H. Hull, J.G. Jenkins, K. Steinbrenner, and D.H. Brent. 1975. Statistical package for the social services. (2nd ed.) McGraw-Hill Book Co., New York. 675 pp.

Quarles, J. 1974. Railroad noise and proposed emission standards. Environmental Protection Agency, Washington. Federal Register, 39:22297-11199; 24580-24586.

Rausch, R.L. 1973. Post-mortem findings in some marine mammals and birds following the Cannikin test on Amchitka Island. U.S. Atomic Energy Commission, Las Vegas. 85 pp.

Vanhorn, S.D. 1975. Activity and feeding rhythms in the muskrat **(Ondatra zibethicus)**. Ph. D. thesis, Univ. of Wisconsin. 101 pp.

Wang, L.C.H. 1972. Circadian body temperature of Richardson's ground squirrel under field and laboratory conditions: a comparative radiotelemetric study. Comp. Biochem. Physiol. 43:503-510.

Westworth, D.A. 1974. Ecology of the muskrat **(Ondatra zibethicus spatulatus)** on the PeaceAthabasca Delta, Wood Buffalo National Park. M.Sc. Thesis, Univs. of Alberta, Edmonton. 147 pp.

Westworth, D.A. 1977. Impact of seismic activity on muskrat populations on the Mackenzie Delta. North of 60, Environmental Studies No. 1, DIAND. 70.

White, C.S., I.G. Bowen and D.R. Richmond. 1970. The relation between eardrum failure and blast-induced pressure variations. Space Life Sc., 2:158-205.

COMMUNICATIONS PERSONNELLES

Beck, Dr B.E., chef de la Section des maladies des animaux, Division des services vétérinaires, Alberta Agriculture, Edmonton (Alberta).

Cooper, J. Compagnie pétrolière Impériale, Calgary (Alberta).

Elder, W. Gulf Canada, Calgary (Alberta).

Harbourne, J., Canadian Industries Ltd., Calgary (Alberta).

Shnitka, Dr. T., directeur intérimaire, Département de pathologie, Université de l'Alberta, Edmonton.

ANNEXE I

RAPPORT PATHOLOGIQUE

1. Formulaires 159-74

2. Division des services vétérinaires

3. Services de laboratoire
Immeuble de laboratoires Longman

4. B.P.

5. Propriétaire

6. Dave Westworth
10178 - 89 Street
Edmonton (Alberta)

7. Présenté par..... le susdit .....
Nature du spécimen..... Trois rats musqués morts .....
Rapport de laboratoire: Spécimen n° A77-3783 B
Date..... 20 juillet 1977 .....

8. Veuillez excuser le retard à terminer cet examen. Je viens de finir l'analyse historique du cerveau et je n'ai découvert aucun signe d'hémorragie reliée à un trauma, une contusion ou un changement de pression. Le gel des spécimens a malheureusement causé l'hémolyse d'un grand nombre d'hématies. Cependant, une partie des cervaux étant bien conservée, je n'ai pu déceler aucune lésion attribuable à un trauma.

L'identification des kystes parasitaires du foie est incluse.

En conclusion, j'ai été incapable d'établir l'existence, chez ces animaux, de lésions importantes qui expliqueraient la cause de leur mort.

Le chef de la Section des
maladies des animaux

B.E. Beck, D.M.V.

Formulaire V.L.-1

DIVISION DES SERVICES VÉTÉRINAIRES

Service de laboratoire

DATE DE RÉCEPTION 18 mai 1977

ACHEMINEMENT n° A77-3783 B

PRÉSENTÉ PAR:

VÉTÉRINAIRE:

PROPRIÉTAIRE

Dave Westworth
10178-89 Street
Edmonton (Alberta)

429-2958

SPÉCIMEN 3 RATS MUSQUÉS MORTS

ANTÉCÉDENTS: Rats musqués provenant du delta du Mackenzie. Auraient été tués par une explosion.

LÉSIONS OBSERVÉES LORS DE L'AUTOPSIE:

Le présent rapport comprend les résultats de l'autopsie des trois rats musqués. Les animaux sont identifiés comme il suit: le rat musqué n° 1 est le sujet n° 460 (poids de 675 grammes - station 14 - terrier de berge n° 3 à l'extrémité du lac - delta du Mackenzie - 1er mai 1977); le rat musqué n° 2 est le sujet n° 471 (ces deux animaux portaient des émetteurs dans la cavité péritonéale). Le rat musqué n° 1 a été trouvé mort dans un passage. Les animaux nos 2 et 3 ont été trouvés morts dans le terrier. Le rat musqué n° 3 est le sujet n° 474 (800 grammes); il a été trouvé mort dans son lieu de repos habituel.

L'autopsie a montré une congestion hypostatique le long de la base latérale des poumons et dans plusieurs lobes pulmonaires isolés. Le rat musqué n° 1 souffrait d'importants kystes hydatiques du foie, probablement particuliers aux ténias. Il n'y avait aucun signe d'hémorragie dans les bulles tympaniques: toutes les membranes tympaniques étaient intactes. Il n'y avait aucune lésion externe. La carcasse ne présentait aucune trace d'hémorragie, de contusions ou de fractures. Le foie et les poumons ont été conservés au congélateur en vue d'analyses plus poussées. Certains tissus et le cerveau ont été envoyés au laboratoire d'HISTOPATHOLOGIE pour la réalisation de coupes.

Le chef de la Section de
maladies des animaux

B.E. Beck, D.M.V.

DIAGNOSTIC:

SIGNÉ: 20 juillet 1977

ANNEXE II

RÉSULTATS DES ESSAIS DE PRESSION HYDROSTATIQUE

Le 3 janvier 1978

Essais de pression effectués dans le delta du Mackenzie en avril 1977

Des essais de pression ont été effectués pendant trois jours en avril de 1977 dans un lac sans nom situé à 68° 24' 45" N et 133° 48' W, dans le delta du Mackenzie. Il a été possible d'atteindre le lac en se dirigeant vers le nord quelque 6.7 kilomètres le long du chenal East à partir de la River Road d'Inuvik.

Bill Elder et moi-même, de Gulf Canada, John Cooper, de l'Impériale, et Doug Ross, de Teledyne Exploration, avons effectué les essais de pression.

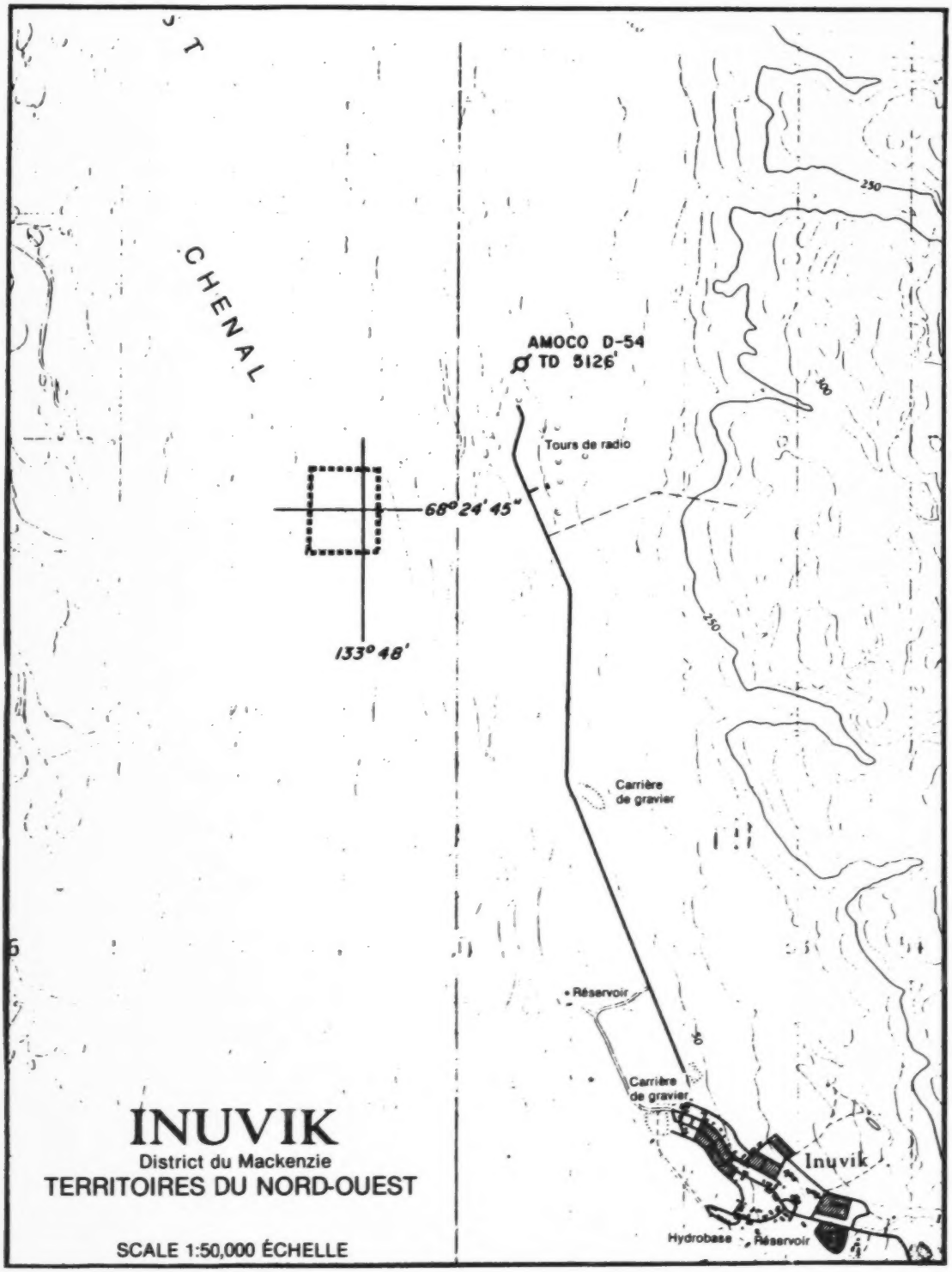
Les appareils choisis pour ces essais comprenaient un oscilloscope à double faisceau Tectronics, modèle 453, auquel était rattaché un appareil photographique Polaroid, modèle C-30, et, enfin, un hydrophone, modèle UT-102, de KSP Industries. L'hydrophone émettait un signal régulier à l'intérieur de la gamme de fréquence de 17 Hz à 14 KHz. L'hydrophone a été relié à 100 pieds de câble coaxial, puis étalonné par les fabricants. La feuille d'étalonnage est jointe.

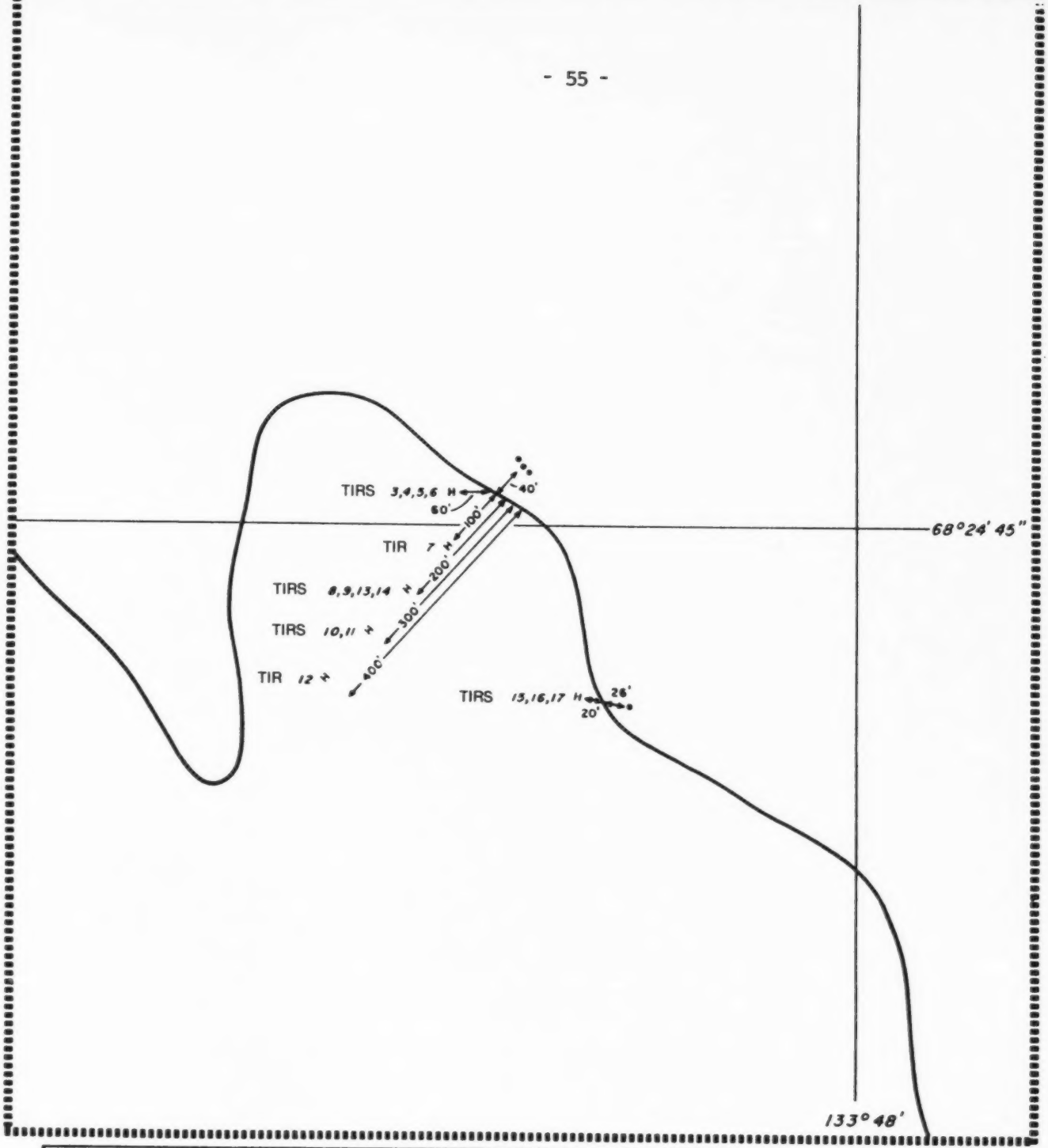
Une installation de forage de trous de tir a été utilisée pour creuser des trous de 60 pieds de profondeur le long du rivage du lac et y déposer des charges de dynamite à 60% de Geogel (n° 5 à n° 60). Les trous ont été forés à 40' et 26' du bord du lac, entièrement dans le l'argile limoneuse.

L'hydrophone a été placé dans l'eau du lac à différents endroits entre 400' et 20' à partir du bord du lac et à diverses profondeurs entre 33" et 72" sous la surface de la glace. L'épaisseur de la glace variait de 18" à 33".

Après l'explosion des charges, les pressions résultantes ont été observées. Ces dernières variaient entre 0.0004 liv/po^2 et 0.0125 liv/po^2, et ces valeurs pouvaient se répéter. Les vitesses calculées à partir des temps d'arrivée de l'onde de pression maximale (table de valeurs jointe) étaient acceptables et se comparent aux vitesses de tir sismique obtenues dans la même région.

A.R. Fink


CHENAL
AMOCO D-54
TD 5126'
Tours de radio
68° 24' 45"
133° 48'
250
100
250
Carrière de gravier
Réservoir
50
Carrière de gravier
Inuvik
Hydrobase
Réservoir
INUVIK
District du Mackenzie
TERRITOIRES DU NORD-OUEST
SCALE 1:50,000 ÉCHELLE

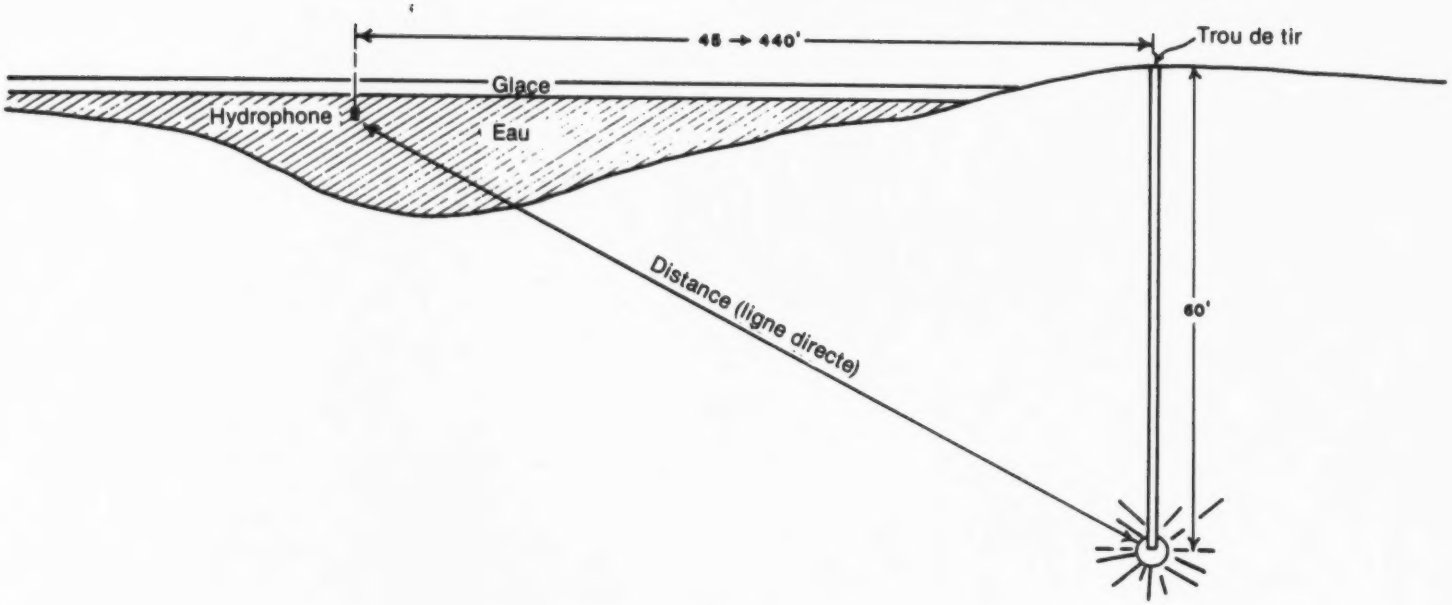


Gulf Canada

SCHÉMA DES ESSAIS DE PRESSION DANS LE DELTA DU MACKENZIE

- Trou de tir
- H Hydrophone

Juin 1977

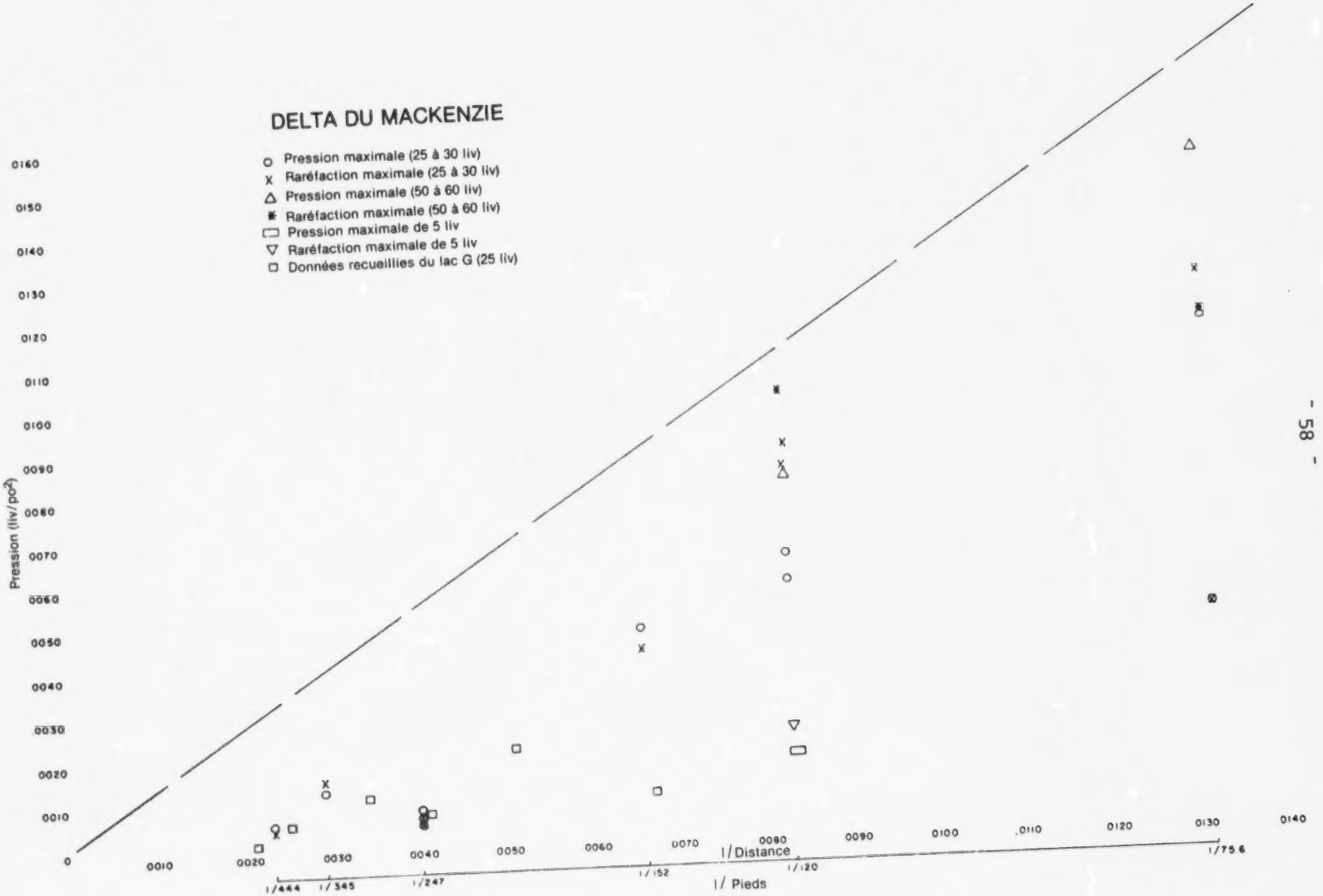


Gulf Canada

ESSAIS DE PRESSION
DANS LE DELTA DU MACKENZIE

Date: juin 1977

Tir #	Grosseur de la charge	Pression maximale		Raréfaction maximale		Distance (ligne directe)		Temps vertical jusqu'à l'onde de pression maximale	Vitesse
		VOLTS	@.24V/liv/po² liv/po²	VOLTS	@.24V/liv/po² liv/po²	DIST.	1/DIST	(millisec.)	DIST./T.E.H. (pi /sec/)
3	5# @ 60'	.0075	.0018	.010	.0024	120	.0083	22	5460
4	25# @ 60'	.027	.0064	.037	.0089	120	.0083	22	5460
5	25# @ 60'	.024	.0058	.035	.0084	120	.0083	22	5460
6	50# @ 60'	.034	.0082	.042	.0101	120	.0083	22	5460
7	25# @ 60'	.020	.0048	.018	.0043	152	.0066	30	5077
8	25# @ 60'	.0035	.0008	.0025	.0006	247	.0040	55	4498
9	25# @ 60'	.0020	.0005	.0024	.0005	247	.0040	55	4498
10	25# @ 60'					345	.0029		
11	25# @ 60'	.0055	.0013	.0062	.0015	345	.0029	80	4316
12	25# @ 60'	.0024	.0005	.0018	.0004	444	.0023	95	4675
13	30# @ 60'	.0024	.0005	.0028	.0007	247	.0040	35	6185
14	25# @ 60'	.0026	.0006	.0020	.0005	247	.0040	40	6185
15	30# @ 60'	.048	.0115	.052	.0125	76	.0132	40	5040
16	25# @ 60'	.020	.0048	.020	.0048	76	.0132	15	5040
17	60# @ 60'	.064	.0154	.048	.0115	76	.0132	15	5040


DELTA DU MACKENZIE
Pression maximale (25 à 30 liv)
Raréfaction maximale (25 à 30 liv)
Pression maximale (50 à 60 liv)
Raréfaction maximale (50 à 60 liv)
Pression maximale de 5 liv
Raréfaction maximale de 5 liv
Données recueillies du lac G (25 liv)
Pression (liv/po²)
0160
0150
0140
0130
0120
0110
0100
0090
0080
0070
0060
0050
0040
0030
0020
0010
0
0010
0020
0030
0040
0050
0060
0070
0080
0090
0100
.0110
0120
0130
0140
1/ Distance
1/444
1/345
1/247
1/152
1/120
1/75 6
1/ Pieds

POOR

QUALITY

ORIGINAL